

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

**Specifika a metody stavebně technických průzkumů
historických zděných staveb**

**Specifics and methods in technical - building surveys of
historic masonry buildings**

Bakalářská práce

Autor:

Karla Heczková

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tereza Majstríková

Ostrava 2016

Prohlašuji:

- byla jsem seznámena s tím, že na mojí bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečné ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3)
- Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Podpis studenta

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí bakalářské práce paní Ing. Tereze Majstríkové za její metodické vedení, poskytnutí odborného materiálu, informací a cenných rad k vytvoření této práce. Dále bych ráda poděkovala Laboratoři tepelných vlastností, reologie a koroze stavebních materiálů z projektu Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin a panu Ing. Pavlu Mecovi za provedení laboratorních analýz a možnost praktického porovnání vzorků v laboratoři. Na závěr věnuji poděkování svému příteli a rodině za podporu a vytvoření vhodných podmínek pro vznik této práce.

Anotace

Historické zděné konstrukce se na našem území vyskytují poměrně běžně. V případě provádění rekonstrukcí je však nutné pochopit jejich problematiku, jak v oblasti stavebně technických průzkumů, tak i případných sanací. Z tohoto důvodu v teoretické části práce jsou popsány používané historické materiály, ze kterých vznikaly různé typy stavebních prvků. Dále práce zahrnuje problematiku stavebně technických průzkumů a metodiky zkoušení nejen historických zděných konstrukcí. Praktická část zahrnuje popis vybraného objektu, zámku v Paskově. V rámci předběžné fáze byla provedena prohlídka objektu s vyznačením kritických míst zděných konstrukcí a následně i laboratorní analýzy. Konkrétně byly analyzovány barytové omítky, stanoveny mechanické vlastnosti zdiva IN SITU a porovnány vlhkosti v letním a zimním období jednotlivých odebraných vzorků.

Klíčová slova

Historické konstrukce, stavební materiály, stavebně technický průzkum, malty, zdivo, degradace, diagnostické metody

Annotation

Historical masonry structures exist quite commonly in this country. In the case of the reconstruction, understanding of their issues is necessary, both in technical building surveys, and potential rehabilitation. For this reason, the theoretical part describes the use of historical materials which created various types of construction elements. The work also includes the issue of technical building surveys and testing methodology used not only of historic masonry structures. The practical part includes a description of the selected object lock in Paskov. Inspection of the building with indication of the critical parts of masonry construction was performed in the preliminary stage and subsequently laboratory analyses were performed. Specifically, barites plasters were analyzed, the mechanical properties of masonry were determined IN SITU and humidity in the summer and winter period of various samples were compared.

Keywords

Historical constructions, building materials, technical building survey, mortars, masonry, degradation, diagnostic methods.

Obsah

Seznam zkratk	9
TEORETICKÁ ČÁST	11
1. Úvod.....	11
2. Historické konstrukce a stavební materiály	13
2.1. Nepálené cihly.....	14
2.2. Pálené cihly	15
2.3. Bílé (silikátové, vápenopískové, autoklávované) cihly.....	16
2.4. Kámen	17
2.4.1. Horniny vyvřelé (magmatické).....	17
2.4.2. Horniny usazené (sedimentární)	18
2.4.3. Horniny přeměněné (metamorfované).....	18
2.5. Historické malty	19
2.5.1. Zdicí malty	19
2.5.2. Podlahové malty	20
2.5.3. Spárovací malty	20
2.5.4. Malty pro omítání	21
3. Historické zdivo.....	22
3.1. Vývoj zděných staveb na našem území z kamene	23
3.2. Historické cihly a cihelné zdivo	27

4. Průzkumy a ochrana historického zdiva	29
4.1. Stavebně - technický průzkum	29
4.1.1. Předběžný STP	30
4.1.2. Podrobný STP	30
4.1.3. Doplnující STP	31
4.2. Stavebně – historický průzkum	33
5. Poruchy a vady zděných konstrukcí	34
5.1. Degradace kamene	34
5.2. Degradace stavebních hmot z nepálené hlíny	39
5.3. Degradace stavebních hmot z pálené hlíny	40
5.4. Degradace malt a omítek	41
5.5. Trhliny ve zděných konstrukcích	42
5.6. Zvýšená vlhkost ve zděných konstrukcích	44
6. Metody zjišťování vad a poruch zděných konstrukcí:	46
6.1. Nedestruktivní zkušební metody	46
6.1.1. Vizuální prohlídka	47
6.1.2. Měření šířky trhlin	47
6.1.3. Elektrodynamické metody	50
6.2. Semidestruktivní zkušební metody	51
6.2.1. Tvrdoměrné zkoušky	51
6.2.2. Vrtací zkouška ke stanovení pevnosti zdících prvků a malty	52

6.2.3.	Odtrhové metody	53
6.3.	Destruktivní zkušební metody.....	54
6.3.1.	Jádrové vývrty.....	54
6.3.2.	Metoda použití plochých lisů.....	55
PRAKTICKÁ ČÁST		57
7.	Předběžný průzkum	57
7.1.	Popis vybraného objektu - Zámek Paskov	57
7.1.1.	Historické souvislosti.....	57
7.1.2.	Rozbor objektu.....	59
	Urbanistická situace	59
7.1.3.	Zjištěné vady při předběžném průzkumu.....	61
8.	Podrobný průzkum.....	65
8.1.	Popis jednotlivých zkoušek.....	68
8.1.1.	Gravimetrická metoda.....	68
8.1.2.	Zjišťování obsahu barytu v barytové omítce	70
8.1.3.	Stanovení pevnosti zdících prvků a malty na stávající konstrukci	80
8.1.4	Zhodnocení výsledků	95
9.	Závěr	97
10.	Citovaná literatura.....	99
11.	Seznam příloh	105

Seznam zkratk

d	hloubka vrtu [mm]
d_m	průměrná hloubka vrtu [mm]
f_b	normalizovaná pevnost v tlaku zdících prvků [MPa]
$f_{b,u}$	průměrná pevnost v tlaku kusového staviva [MPa]
f_d	návrhová pevnost zdiva v tlaku [MPa]
f_k	charakteristická pevnost zdiva v tlaku [MPa]
f_m	normalizovaná pevnost malty v tlaku [MPa]
$f_{me} (f_{be})$	informativní hodnota pevnosti zdících prvků nebo malty
K	konstanta závislá na druhu zdiva a skupině zdících prvků; pro nejčastější uspořádání zdících prvků z plných cihel klasického formátu průměrné pevnosti a obyčejné malty, při střídání běhounů a vazáků ve vazbě zdiva se uvažuje konstanta $K= 0,55$ [-]
k_n	součinitel odhadu 5 % kvantilu [-]
m_s	hmotnost vysušeného vzorku [g]
m_v	hmotnost nevysušeného vzorku [g]
m_x	výběrový průměr vyšetřované pevnosti z „n“ zkušebních míst [MPa]
s_x	výběrová směrodatná odchylka [MPa]
t_n	součinitel pro odhad dolní hranice konfidenčního intervalu průměru, stanovený s pravděpodobností $P = 0,9$. [-]
V_x	variační koeficient [%]
w	hmotnostní vlhkost [%]

γ_{m1}	základní hodnota dílčího součinitele spolehlivosti, která se pro zdivo z plných cihel uložených na obyčejnou maltu rovná 2,0 [-]
γ_{m2}	součinitel vlivu pravidelnosti vazby a vyplnění spár maltou: $0,85 \leq \gamma_{m2} \leq 1,2$; dolní mez intervalu platí pro zcela dokonalou vazbu a bezvadné vyplnění spár [-]
γ_{m3}	součinitel vlivu zvýšené vlhkosti, pro vlhkost zdiva v intervalu od 4 % do 20 % se určí interpolací mezi hodnotami $1,0 \leq \gamma_{m3} \leq 1,25$ [-]
γ_{m4}	součinitel zahrnující vliv svislých a šikmých trhlin ve zdivu v intervalu $1,0 \leq \gamma_{m4} \leq 1,4$, (dolní mez platí pro zdivo bez trhlin) [-]
α	exponent závislý na tloušťce ložných spár a druhu malty, $\alpha = 0,7$ pro nevyztužené zdivo s obyčejnou nebo lehkou maltou [-]
β	exponent závislý na druhu malty, $\beta = 0,3$ pro obyčejnou maltu [-]
δ	součinitele tvaru vyjadřující vliv rozměrů zdícího prvku

TEORETICKÁ ČÁST

1. Úvod

Stavební památky představují velice složitý soubor prvků materiálů různého složení a různých funkcí, tvořící jeden komplikovaný celek. Tyto objekty nebo jeho části přežívají mnohdy řadu staletí. Tím staví specialisty zabývající se jejich uchováváním před náročný úkol, jak je ošetřovat. Respektování základního pravidla dnešní památkové péče – snahy o maximální zachování původní hmoty památky – vyžaduje hledání takových metod a prostředků ochrany nebo obnovy, jejichž použití prodlouží existenci stavby s minimálním poškozením nebo dokonce náhradou (odstraněním) historických materiálů i konstrukcí.

Řada historických materiálů i technologií se používá dodnes, i když prošli změnami. V některých případech se po přechodném nadšení pro nové produkty vracíme ke „klasickým“. Abychom dokázali co nejlépe posoudit výhody i nevýhody „tradičních“ i „novodobých“ materiálů a postupů, musíme co nejpřesněji znát jejich vlastnosti. Z těchto poznatků potom musí vycházet naše návrhy ochrany, obnovy nebo nezbytné náhrady součástí památkových staveb. [8]

Velkým historickým milníkem bylo objevení hlíny jako materiálu vhodného k budování staveb a později využívaného k výrobě nepálených cihel. Takto vznikaly stavby po mnoho let. Zvyšující se požadavky stavitelů vedly ke vzniku prvotních pálených cihel, které započaly první kapitolu éry zděných staveb trvající další staletí. Tento materiál našel uplatnění prakticky ve všech oblastech stavitelství, a to ve stavbách inženýrských, průmyslových, staveb zemědělských, náboženských či občanských. Na rozdíl od kamene, který doposud tvořil základní stavební materiál, nabízí pálené cihly lepší tepelně izolační vlastnosti, nižší hmotnost a přesné rozměry, které velikou mírou zjednodušují realizaci nových staveb. Únosnost zděných konstrukcí je zajištěna důkladným provázáním jednotlivých vrstev cihel spojovaných maltou. Využití pálených cihel se rozšířilo po celém světě a dodnes tvoří nosný systém mnoha staveb.

Vzhledem k velkému zastoupení zděných staveb nejen na našem území je zapotřebí umět tyto stavby posuzovat z hlediska konstrukčního uspořádání, z hlediska bezpečnosti, a také komfortu jejich obyvatel. Právě u zděných staveb se můžeme nejčastěji setkat s rekonstrukcemi, kterými prošli v minulosti, a je nutné, aby každá taková rekonstrukce

proběhla pod odborným dozorem zkušeného znalce, jak tomu v některých případech bohužel není. To může mít později za následek poškození či havárii konstrukce. Dalším důvodem nutnosti diagnostických metod je odhalení skrytých vad a poruch konstrukcí, způsobených např. špatnou technologií výstavby, nesprávným statickým výpočtem nebo působením povětrnostních vlivů. Tyto poruchy je zapotřebí včas odhalit, vyhodnotit a vhodným způsobem zajistit jejich opravu. K těmto účelům bylo postupně vytvořeno nespočetné množství zkušebních metod, které diagnostiku zděných konstrukcí umožňují.

[14]

2. Historické konstrukce a stavební materiály

Historické zděné prvky jsou provedeny ze zdiva z neopracovaného a hrubě opracovaného lomového kamene, z opracovaného kamene a kamenných bloků, zdiva z nepálených sušených cihel, betonového zdiva jinak také litého zdiva (směs malty a kamenné nebo cihelné drti), zdiva z cihel pálených, zdiva smíšené z kamene a cihel. Nejstarší historické stavby byly vybudovány již ve starém Babylonu a v Egyptě, více než 4 tisíce let před n.l. Jako pojivo zdících prvků byly používány malty hliněné, asphalt, malty vápenné ze vzdušného popř. hydraulického vápna, později vápenocementové a cementové a jiné. Historicky nejstarší zdivo je prostá rovnanina z neopracovaného kamene.

V Mezopotámii v oblastech dnešní Anatólie a Iránu se nacházejí zděné stavby, jejichž stáří je více než 9 tis. let. Jako zdící materiál se používaly nejprve cihly sušené na slunci a později, přibližně před 3 tisíci lety se začaly používat cihly pálené. V Mohendžo – Daru v údolí Indu v letech 2300 až 1700 př.n.l. již byly všechny stavby budovány z pálených cihel. Nepálených cihel se téměř výhradně používalo na vyzdívání vnitřních stěn staveb.

V Egyptě v období I. dynastie se setkáváme s již vyvinutou technikou zdění, podobně jak tomu bylo v Mezopotámii, odkud byla převzata nejen velikost cihel, ale zejména střídání tří řad běhounů a jedné řady vazáků. Na běžná jednoduchá obydlí používali Egypťané převážně sušené cihly. Stěny byly omítané vápennou omítkou. Za dob stavitelů pyramid, kolem 3 tis. př.n.l. se cihly používaly na vyzdívání vnitřního členění pyramid. Samotné pyramidy tvořily mohutné opracované kamenné kvádry, které dodnes vyvolávají množství nezodpovězených otázek, ať už z hlediska stavební technologie tak i logistiky. Z kamenných kvádrů se také budovaly paláce a sídla. V Řecku navázali na stavební zvyklosti kultury mykénské. Do základu dávali lomový kámen, zdi budovali z nepálených sušených cihel a zdivo ztužovali olivovými trámcí.

Římané používali dřevo, kámen, cihly i lité zdivo. Nejdříve se používaly cihly nepálené, později pálené. Cihly pálené z hlíny bývaly ploché, výšky 3-6 cm a délky 25 cm a více. Vyráběly se i různé tvarovky na klenby a sloupy i vylehčující duté tvarovky hrncové. Cihelné zdivo se svazovalo vysokou a hustou vrstvou vápenné malty. Používání hydraulického vápna přispívalo ke značné pevnosti zdiva. Tloušťka malty v ložné spáře byla rovna výšce cihly tj. 3-6 cm. Malta byla z počátku hliněná s pucolánovou příměsí

a s mořským nebo kopaným pískem. Později byla využívána malta vápenná. V Římě se uplatňovalo zdivo s kameny kladenými na šikmo, zdivo s vyzdívanými líci a vnitřním výplňovým jádrem z malty a úlomků kamenů.

Nejstarší kamenné zděné památky na území českého státu pocházejí z období existence Velké Moravy z 8. století n.l. Kamenné zdivo kladené na maltu vápennou bylo na našem území užíváno již od doby románské. Nejstarší zachované cihelné zdivo v Čechách pochází z druhé poloviny 12. Století, např. v kostele v Plasích. Na území českého státu se rozšířilo používání cihel až na sklonku gotiky. [8], [15]

2.1. Nepálené cihly

Nepálené cihly patří mezi nejstarší stavební materiál. Surovinou pro jejich výrobu byly různé typy hlíny, vzniklé zvětráváním některých hornin, jako jsou ruly, žuly a porfyr. Produkty zvětrávání jsou jíl, prach, písek a některé další příměsi. Nejdůležitější složkou je jíl resp. jílové minerály, především illit, montmorillonit a kaolinit.

Výroba nepálených cihel probíhala v minulosti na našem území ve velkém měřítku, jelikož hlavní zdroj pro výrobu – hlína – byla nejdostupnějším stavebním materiálem. Obsah jílové složky v nepálených cihlách leží ve většině případů v rozmezí 10-30%. Kvůli zlepšení mechanických vlastností hotových cihel se do hlíny přidával vláknitý organický materiál, jako je sláma ve formě řezanky nebo štětiny. Přestože se hlína modifikovala, celkově mechanické vlastnosti tohoto materiálu s výjimkou pevnosti v tlaku nejsou optimální. Hlína se obvykle nakopala již na podzim, přes zimu se nechala odležet a teprve v jarních měsících byla zpracována. Nejprve byla hlína zvlhčena, přičemž množství záměsové vody bylo udržováno na nejnižší možné úrovni, a po nabobtnání jílu byla hlína důkladně prohnětena. Podle potřeby byl rovněž přidán písek nebo vláknité materiály. Z takto připravené hmoty těstovité konzistence pak byly do jednoduchých dřevěných forem bez dna (rámečků), obvykle čtvercového tvaru, dusány cihly, které byly po odformování volně sušeny nejprve ve stínu a pak dosušeny na slunci. Nepálené cihly mají řadu krajových názvů. V Česku a na Slovensku se vžilo označení například vepřovice, surovice, buchty, syrové cihly, vepřiky, truplovice, kořáry a kotovice.

Zdi z nepálených cihel byly stavěny běžným způsobem na maltu připravenou z výchozí hlíny promísením s vodou na potřebnou konzistenci. Stejná malta, případně

s přídavkem plev, řezanky či štětín byla občas používána k omítání hotové zdi nebo k zamazávání na nosnou proutěnou konstrukci (mazanice, lepenice). Hliněné stavby byly budovány i jinými způsoby. Jednalo se o tzv. nakládané stavby, kdy pásy prohnětené hlíny byly volně, tj. bez bednění nakládány na sebe. Dále se jednalo o nabíjené stavby, kdy se prohnětená hlína dusala do bednění. Stavby z hliněných válků byly budovány tak, že ručně uválené bochníky hlíny byly do zdi kladeny ve vlhkém stavu, takže se k sobě lepily. [8]

2.2. Pálené cihly

Surovinou pro pálené cihly jsou, stejně jako u nepálených cihel, hlíny na bázi jílových minerálů. Další příměsi pálených cihel jsou nejílové minerály, jako je křemen, kalcit nebo slída. Tyto nejílové minerály jsou také obsaženy v nepálených cihlách, ale v jiném množství.

Výroba pálených cihel je podobná jako u nepálených cihel. Používané hlíny se mohou lišit obsahem i složením jílových komponentů, typem a množstvím nejílových minerálů, ale jejich chování se v průběhu zahřívání na vysokou teplotu (pálení) skoro nemění. Při teplotě 500-600 °C dochází k dehydrataci jílových minerálů. Dehydratované aluminosilikáty se při teplotě cca 950 °C, za odštěpení části SiO_2 v amorfni formě, mění ve sloučeninu spinelového typu. Sodík, draslík, vápník, železo a další kationty obsaženy v jílových i nejílových materiálech snižují teploty jednotlivých přechodů. Uvolněné alkalické oxidy a oxidy alkalických zemin spolu s dalšími nečistotami reagují s odštěpeným amorfni SiO_2 za vzniku sklovité fáze. Uvedené oxidy působí jako tavivo, což umožňuje částečné tavení jílových materiálů při nižších teplotách, než by odpovídalo čisté soustavě SiO_2 - Al_2O_3 . Z těchto důvodů je možné pálit cihly a tašky při teplotách 800-900 °C, kdy již vzniká dostatečné množství taveniny. Tavenina tvoří po zchladnutí tuhý roztok – silikátové sklo, kterým jsou potažena a propojena zrnka písku a dalších nejílových složek. Vlastnosti sklovité fáze a její množství závisí na složení výchozích surovin a na teplotě při pálení. Čím větší teplota, tím větší je množství sklovité fáze, a tím také větší pevnost materiálu. Na teplotě pálení závisí i barva cihel. Pálení při nižších teplotách způsobuje, že cihly jsou žluté a pálením při vyšších teplotách je zbarvení až do červena.

Mechanické a fyzikální vlastnosti závisí na kvalitě výchozích surovin, způsobu zpracování a teplotě výpalu. Pevnost v tlaku u pálených cihel se pohybuje v rozmezí 5 –

60 MPa, přičemž nejvyšší pevnosti mají cihly používané pro venkovní lícové zdivo. Hodnota pevnosti je hlavním kritériem pro rozdělení cihel do skupin (tříd). Dalším kritériem je objemová hmotnost a s ní související pórovitost resp. nasákavost. Důležitou vlastností pálených cihel je také mrazuvzdornost, která se určuje podle počtu zmrazovacích cyklů a která je ovlivněna pórovitostí a velikostí pórů.

Mezi užité vlastnosti cihel patří i jejich rozměry, které jsou u kusového staviva vždy velmi významné. Důsledkem historického vývoje je velice široký tvarový a rozměrový sortiment cihel, což přináší problémy při opravách a rekonstrukcích historických objektů. Klasické plné pálené cihly se dnes dodávají ve třech různých formátech – velký formát (290 x 140 x 65 mm), malý formát (250 x 120 x 65 mm) a metrický formát (240 x 115 x 72 mm). [8]

2.3. Bílé (silikátové, vápenopískové, autoklávované) cihly

Historie vápenopískových cihel sahá do 19. století. Je to ekologický materiál, který se skládá pouze z vápna, písku a vody. I když tzv. bílé (vápenopískové) cihly nepatří mezi pálené materiály, jejich využití je v některých směrech podobné jako u pálených cihel.

Bílé silikátové cihly se vyrábějí autoklávováním směsi páleného vápna a jemnozrnných křemičitých písků, elektrárenského popílku apod. Za teplot nad 150 °C v prostředí nasycené vodní páry a zvýšeného tlaku dochází k chemické reakci obou základních složek za vzniku vápenných hydrosilikátů. Propařováním uvedené směsi v autoklávu (po dobu až 18 hod.) získává materiál téměř konečnou pevnost. Za nositele pevnosti v těchto výrobcích je považován minerál tobermorit, který vzniká při teplotě kolem 180°C. Protože jsou výrobky před umístěním v autoklávu lisovány ve formách, mají velice přesné rozměry, nepatrné výrobní tolerance a hladký povrch. Vápenopískové cihly byly a jsou používány především v režném zdivu. Protože jejich nasákavost vodou se pohybuje kolem 10 – 20 %, mohou být poškozeny mrazem. V prostředí vztlínající vlhkosti navíc mohou působit vážné poškození i vodorozpustné soli.

Dnes se bílé vápenopískové cihly používají především pro výstavbu pasivních domů, vzhledem k tomu, že je považován za ekologický materiál, který šetří životní prostředí. Tento materiál může mít velkou budoucnost. [8]

2.4. Kámen

Kámen, jako většinou hojný přírodní materiál, provází člověka již od pradávna. Mezi nejstarší zachovalé kamenné památky člověkem vytvořené nebo alespoň upravené, patří tzv. megality – osamocené, volně stojící menhiry, jednoduché jeskyně tvořící dolmeny nebo pravidelně uspořádané stojící bloky, často spojené vodorovným břevnem, kromplechy. Nejznámější světovou památkou je Stonehenge v jižní Anglii. U nás jsou známy menhiry v okolí Prahy, na Rakovnicku, Lounsku nebo Slánsku a další. Jako stavební materiál byl kámen v jisté míře používán ve většině prehistorických i historických společenstvích všech světadílů. Jsou známy kamenné stavby Aztéků a Mayů v Americe, stavby chrámů v Číně i v Indii. V předrománské době dosáhl kámen vůbec nejmasovějšího použití ve starověkém Egyptě. Dodnes obdivujeme opracované bloky vápenců z egyptských pyramid. Stejně tak stojíme v úžasu nad sochami s klobouky na Velikonočních ostrovech nebo nad desítky kilometrů dlouhou Velkou čínskou zdí. Ani antika nezůstávala pozadu a kamenné stavby Řecka i Říma jsou v mnohém dodnes našimi vzory. Vývoj v Evropě šel dále přes slohy románský, gotický, renesanční až k baroku.

Přírodní kámen je hornina tvořena jednotlivými minerály, které se od sebe liší chemickým složením, krystalickou strukturou apod. Z celkového počtu více jak 2 500 minerálů se jich na stavbě nejběžněji podílí pouze 25. Horniny se třídí podle různých kritérií a nejdůležitějším z nich je způsob vzniku horniny. Podle tohoto pohledu jsou horniny tvořící zemskou kůru děleny na vyvřelé (vulkanické, magmatické), usazené (sedimentární) a přeměněné (metamorfované). Způsob vzniku také ovlivňuje i jejich vlastnosti včetně trvanlivosti. [8]

2.4.1. Horniny vyvřelé (magmatické)

Jsou také někdy nazývané horninami primárními. Krystalizují z taveniny magmatu. Rychlost krystalizování není vždy stejná, závisí jak na daném minerálu, tak na okolních podmínkách. Jestliže k chladnutí dochází ve velké hloubce pod povrchem země, vznikají horniny hlubinné. Při tuhnutí taveniny v trhlínách chladné zemské kůry, vzniká hornina žilná. Naopak při tuhnutí taveniny na povrchu země, vznikají horniny výlevné (povrchové). Vyvřelé horniny se dále dělí podle obsahu oxidu křemičitého. Při vysokém obsahu (nad 65%) se jedná o kyselé, při obsahu 54 – 65 % se jedná o intermediální a pod

54% horniny bazické. Mohou se vyskytovat i horniny ultrabazické s obsahem oxidu křemičitého pod 44%.

Mezi nejznámější zástupce vyvřelých hornin, používány jako stavební nebo dekorativní kameny patří především žuly (granity), syenity, diority nebo gabra, trachyty, andezity nebo také tufy. [8]

2.4.2. Horniny usazené (sedimentární)

Vznikají přímo nebo nepřímo z produktů zvětrávání zemského povrchu. Mezi základní skupiny usazených hornin patří horniny klastické a neklastické. U klastických sedimentů je hlavním kritériem velikost klastů, kdežto u neklastických sedimentárních hornin je v první řadě látkové složení. Mezi klastické sedimentární horniny zahrnujeme nezpevněné štěrky, písky, prachové či jílové sedimenty nebo naopak zpevněné konglomeráty, brekcie, pískovce, droby, arkózy, prachovce a jílovce. Klastické horniny vznikaly usazováním úlomků erodovaných hornin různé velikosti. Vysrážením z roztoků solí vznikaly cementační usazené horniny. Na jejich vzniku se podílely i živé organismy svým biochemickým působením, či ukládáním odumřelých koster a schránek. Dalším kritériem dělení klastických sedimentů je velikost úlomků, kde usazené horniny dělíme na psefity (zrna větší než 2 mm), psamity (velikost zrna v rozmezí 2 - 0,63 mm), aleurity (zrna 0,63 – 0,002 mm) a pelity, kde velikost zrna je pod hranici 0,002 mm.

Mezi nejběžnější sedimenty na našem území patří opuky, pískovce, arkózy a různé druhy vápenců. [8]

2.4.3. Horniny přeměněné (metamorfované)

Vznikají ze všech druhů hornin v důsledku účinků vysokých teplot, tlaků a chemizmu prostředí, kterým jsou horniny v zemské kůře vystaveny. V závislosti na době a intenzitě působení jednotlivých faktorů se mění i stupeň přeměny (slabá, střední až silná metamorfóza).

Největší význam z metamorfovaných hornin mají mramory. Horniny této skupiny jsou tvořeny převážně kalcitem, někdy ve směsi s dolomit. Mohou tedy být kalcitické, dolomiticko – kalcitické, kalciticko – dolomitické nebo dolomitické. Mezi nejznámější

domácí lokality kde se mramory těžily, patří Kralický Sněžník, okolí Českého Šternberka a Vlašimi, dále krkonošská a šumavská oblast. Mezi metamorfované horniny patří i fylity, vzniklé nízkoteplotní přeměnou jílovitých a jílovito – prachovcových břidlic. Další horninou jsou hadce (serpentinity). Vznikají přeměnou ultrabazických vyvřelých hornin. V této hornině převládá minerál serpentín, dále obsahuje minerály olivínu, magnezitu, dolomitu, opálu, chryzolitů a jiné. [8]

Další zástupci metamorfovaných hornin jsou pararuly, amfibolity, ortoruly, granulity, svory, migmatity a také porcelanit. [24]

2.5. Historické malty

Maltoviny byly během historie stavebnictví používány k mnoha různým účelům. Jejich cílem bylo konstruování objektu (zdiva) nebo ochrana či výzdoba již dokončených konstrukčních prvků (kladení pochozích ploch, obkládání zdiva, nanášení exteriérových a interiérových omítek). Z užitného hlediska lze malty dělit podle různých kritérií, například podle místa použití (interiér, exteriér), typu aplikace (zdící, spárovací), funkce (estetické, izolační, sanační), barevnosti nebo podle počtu vrstev a jinak. Na základě jejich praktického stavebního využití, typu aplikace rozeznáváme: [1]

- malty zdící;
- malty podlahové;
- malty spárovací;
- malty pro omítání.

2.5.1. Zdící malty

Zdící malty sloužily převážně ke spojování jiných stavebních materiálů, hlavně cihly nebo kamenné bloky. Tyto malty můžeme označit jako silikátové materiály s velmi dlouhou stavební historií. Jejich hlavní funkcí bylo zpevnit zdivo. Proto se materiálové požadavky omezovaly jen na tuto vlastnost, tedy na pevnost v tlaku. K přípravě zdících malt bývaly používány místní suroviny, které byly dostupné v dané geografické lokalitě. Jako kamenivo se používal převážně křemenný písek o různé zrnitosti, málokdy se používal písek hrubozrný. Naopak velice často tento písek obsahoval velké množství

nečistot (zejména jílových minerálů). Pojiva byla volena pokud možno taková, aby co nejlépe spojila jednotlivé stavební prvky (kámen, cihly) a současně odolávala nepříznivému počasí. Z toho důvodu se do těchto malt přidávaly látky s hydraulickými vlastnostmi, které umožňovaly tuhnutí a tvrdnutí v podmínkách se zvýšenou vlhkostí. Povaha a složení hydraulických příměsí do zdících malt byla různá. Hlavní roli zde hrály zkušenosti a znalosti stavitelů získané od předchozích generací, které zahrnovaly postupy zdění i materiály k tomu používané. Například ve středověku, kdy Italové nebo Němci přidávali do malty klasické přírodní pucolány (sopečný popel), se na našem území využíval popel ze spáleného dřeva (dřevní popel). [1]

2.5.2. Podlahové malty

Nutnost přípravy podlahových malt (podlahovin), vyplynula z potřeby upravit terén v bezprostředním okolí budov pro snadnější přístup zvenčí a také pro zpříjemnění pobytu uvnitř staveb. K úpravě venkovního terénu v nejstarších dobách sloužil pouze lomový kámen, drcený do různé velikostní frakce. Hrubozrný kámen (štěrk) byl navezen přímo na určenou zeminu nebo do předem vyhloubených prostor potřebných rozměrů. Prostory mezi štěrkovými zrny byly vyplněny drobnými kamínky a pískem. Později byly k tomuto účelu volené maltoviny. Pro zastřešené části se používaly jílové malty vyztužované rohožemi z rostlinných vláken. Stejně jako pro zdění byly používané hrubozrné, barevně neupravované malty s přísadami hydraulických pojiv. Jejich pevnost, schopnost vyrovnávat zátěž, a tím trvanlivost mohla být upravována rohožemi na bázi vláknitých látek (dlouhá rostlinná nebo živočišná vlákna). Pro hrubou přípravu podloží k pokládce pevnějších a ozdobných podlahových materiálů (kamenné desky, keramické dlaždice, cihelné bloky aj.) byly využívány podobné typy malt, ale nevyztužené. [1]

2.5.3. Spárovací malty

V případě míchání spárovacích malt, kterými byly utěšňovány prohlubně vzniklé při zdění, byly také používány hmoty podobné maltám zdícím nebo podlahovým. Požadavky na exteriérové spárovací malty, sloužící jako výplně mezer mezi obkladovými a podlahovými hmotami, byly odlišné, i přesto, že se uplatňovaly ve venkovních prostorech staveb. Spárovací malty byly obvykle jemnozrnější, přidávalo se prané

kamenivo. K pigmentaci se používaly železité hlinky, cihelná moučka a také dřevní popel, a to tehdy bylo-li nutné sjednotit zbarvení malty s obkladem nebo podlahovinou. [1]

2.5.4. Malty pro omítání

Malty pro omítání pokrývaly historicky rané stavby, za účelem chránit zdivo před povětrnostními vlivy, a tím zabránit snadné destrukci zdiva. Původně snad omítky vznikly roztíráním zdící nebo spárovací malty po povrchu zdiva a to z důvodu vyrovnání výškových rozdílů mezi jednotlivými pevnými stavebními hmotami. Ze začátku byly jednovrstvé, roztírané a přitlačované k povrchu zdiva různými nástroji. Takto vytvořené omítky se jevily jako členité a nerovné. Z toho důvodu se zdokonalovaly zednické pomůcky, aby se dosáhlo co nejrovnějšího a nejhladšího povrchu. Začaly se objevovat omítky vícevrstvé a hlazené. Jelikož plochy omítaného zdiva byly poměrně veliké a hlavně viditelné, začaly se tyto partie umělecky upravovat (modelačně i barevně). [1]

Dále se obecně stavební malty rozdělují:

- podle účelu použití:
 - malty pro zdění;
 - malty pro omítání;
 - malty pro výrobu keramických dílců;
 - malty tepelně izolační;
 - malty stykové a spárovací;
 - malty pro kladení dlažeb a obkladů;
 - malty pro speciální účely;
 - sanační malty a omítky;
- podle typu pojiva:
 - malty vápenné (MV);
 - obyčejné (MV)
 - jemné (MVJ)
 - malty vápenocementové (MVC);
 - obyčejné (MVC)
 - jemné (MVCJ)
 - pro šlechtěné omítky (MVCO)

- malty vápenosádrové (MVS);
- malty sádrové (MS);
- malty cementové (MC);
 - obyčejné (hrubé), (MC)
 - pro cementový postřík (MCP)
- malty polymercementové;
- malty hlíněné;
- podle objemové hmotnosti ve vysušeném stavu:
 - malty tepelně izolační do 1100 kg.m^{-3} ;
 - malty vylehčené do 1600 kg.m^{-3} ;
 - malty obyčejné do 2300 kg.m^{-3} ;
 - malty těžké nad 2300 kg.m^{-3} ;
- podle pevnosti v tlaku:

Tab. 1: Pevnostní třídy malt v tlaku

Třída	M1	M2,5	M5	M10	M15	M20	Md
Pevnost v tlaku v $[\text{N/mm}^2]$	1	2,5	5	10	15	20	> 25

- podle tepelné vodivosti:
 - malty tepelně izolační $\lambda \leq 0,4 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$;
 - malty vysoce tepelně izolační $\lambda \leq 0,25 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$;
 - malty mimořádně tepelně izolační $\lambda \leq 0,14 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$;
- podle požadavků na další vlastnosti:
 - malty mrazuvzdorné;
 - malty vodotěsné či propustné vodním parám;
 - malty se zvláštními vlastnostmi nebo pro zvláštní použití (břízolitové omítky, umělý kámen, krytalové malty, barytové malty, žárovzdorné malty, rozpínací malty apod.). [36]

3. Historické zdivo

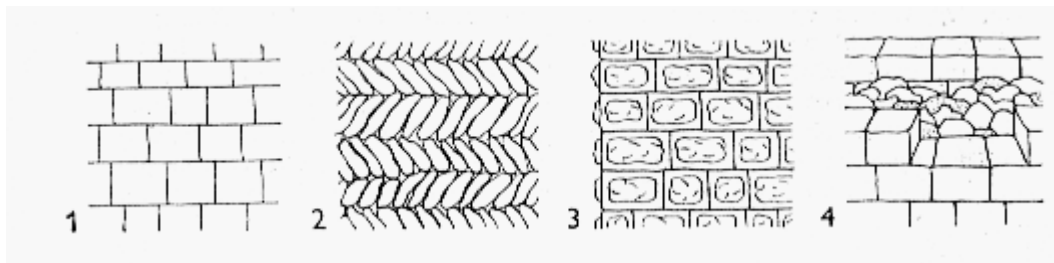
Na našem území byly zděné stavby importem především ze západu a jihu. Místní zdroje a sociální postavení stavebníků ovlivnily způsob provedení zděných konstrukcí. Pojivem byla především vápenná malta popřípadě hlíněná malta s větší nebo menší příměsí

vápna nebo se zdilo nasucho. Z výše uvedených historických materiálů se stavěly zdiva kamenné z tesaného nebo lomového kamene, cihelné nebo smíšené. [18]

3.1. Vývoj zděných staveb na našem území z kamene

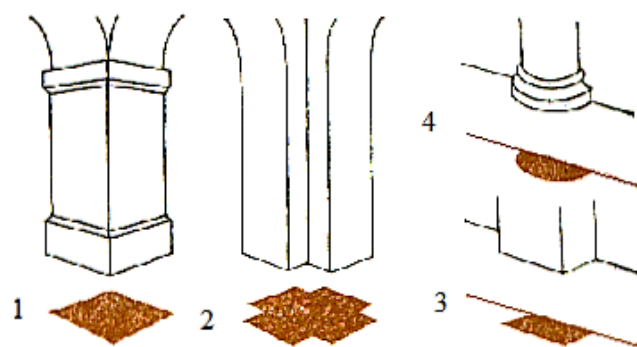
Románské zdivo

Charakteristickým prvkem románských staveb jsou široké stěny (100 a více cm), na které byl použit tesaný kámen. Jednalo se převážně o tzv. kvádríkové zdivo. U těchto širokých zdí, byly vyzděny jen lící části stěn a vnitřní jádro bylo ze zdiva lomového, užívalo se i zdivo klasové (opus spicatum), (viz obr. 1). [18], [19]



Obrázek 1: Románské zdivo – 1.1 - řádkové kvádríkové zdivo; 1.2 - klasové zdivo (opus spicatum); 1.3 – bosované neboli hlízové zdivo; 1.4 – lité zdivo mezi kvádríkovými líci [18]

Velký význam u románských staveb mají opěrné pilíře, které mohou mít tvar čtvercový, křížový a tzv. polopilíř (obr. 2). Dalším prvkem jsou sloupy, většinou rozděleny do tří částí na sokl, tělo a hlavici. Hlavice sloupů nejčastěji napodobují korintský sloh. Jádro těchto prvků někdy obohacují přípory. Klenby se v době románské používaly valené, křížové s rovnou i stoupající vrcholnicí, klášterní na čtvercové či polygonální základně a konchy u apsid. Vnější průčelí románských staveb zdobily lizény, pod hlavní římskou obloučky, konzoly, ornamentální motivy, jako jsou pletence, akanty, provazce, meandry a jiné. Románské zdivo bylo především z opuky popřípadě pískovce a charakteristickým znakem jsou podřezávané spáry. [18], [19]



Obrázek 2: Svislé podporovací románské prvky: 1 – čtvercový pilíř; 2 – křížový pilíř; 3 – polopilíř; 4 – polosloup [42]

Gotické zdivo

Oproti románské architektuře je velikost prvků větší a opracování hladší. Gotická architektura našla své uplatnění především ve stavbě katedrál a hradů, radnic, mostů a dalších staveb. Gotické zdivo je velkolepější a zdobenější. Kromě zdobných prvků bylo zdivo v zásadě vždy zevnitř omítnuté a dále pak pokryté malbami. Nejvýraznějším a charakteristickým rysem gotiky je lomený oblouk, z něhož vychází i křížová klenba. Podobně jako románské zdivo, tak i gotické zdivo bylo z opuky, ale více než opuka se preferoval pískovec, popřípadě jiný dostupný kámen – žula. [19], [20]

Renesanční zdivo

Staveb z tesaného kamene ubývá, převládají omítané stavby z cihel. Kámen se používal pouze pro ostění oken a portálů. Charakteristická je od roku 1550 valená klenba nebo necková s lunetami. Pro českou renesanci je typická hřebínková klenba, která vznikla vytažením hran lunet. Povrchy obvodových zdí vzhledem k tomu, že pro české stavebníky, včetně šlechty, nebyly dostupné italské obklady kamenem, imitovali obklad kresbou v omítce (sgrafito). [21]

Barokní zdivo

Hlavním stavebním materiálem byly cihly nebo smíšené zdivo. Zdivo se omítá barevnými omítkami a nově se objevuje barevný umělý mramor a štukové omítky. Často se používala pruská klenba, česká klenba nebo převýšená kopule tzv. kalota. V baroku se

používaly většinou světlé odstíny a začínají se pozlacovat sochy a architektonické prvky. [5], [18]

Neoslohy

Novorománský sloh je inspirovaný románskou architekturou a využíváný přibližně v polovině 19. století. Znakem jsou zakulacené a polokulaté oblouky oken a římsy. Novorománský sloh sloužil převážně ke stavbě kostelů a synagog. V tomto období se používal jako stavební materiál převážně lomový kámen, neomítané i glazované cihly a také se objevovaly terakotové i štukové detaily. [5]

Novogotika se významněji projevovala v 19. a 20. století a je typická svou snahou o návrat ke gotice, ze které vycházela. Novogotika užívá stejně jako novorománský sloh materiály jako je kámen, neomítané nebo glazované cihly, terakotové a štukové detaily. Stavby se nesprávně a proti původnímu uspořádání zbavovaly omítek a kamenné lomové zdivo se po vyspárování nechávalo holé. Po sejmutí omítek se tak objevovaly zazděné a dosud skryté detaily. [5]

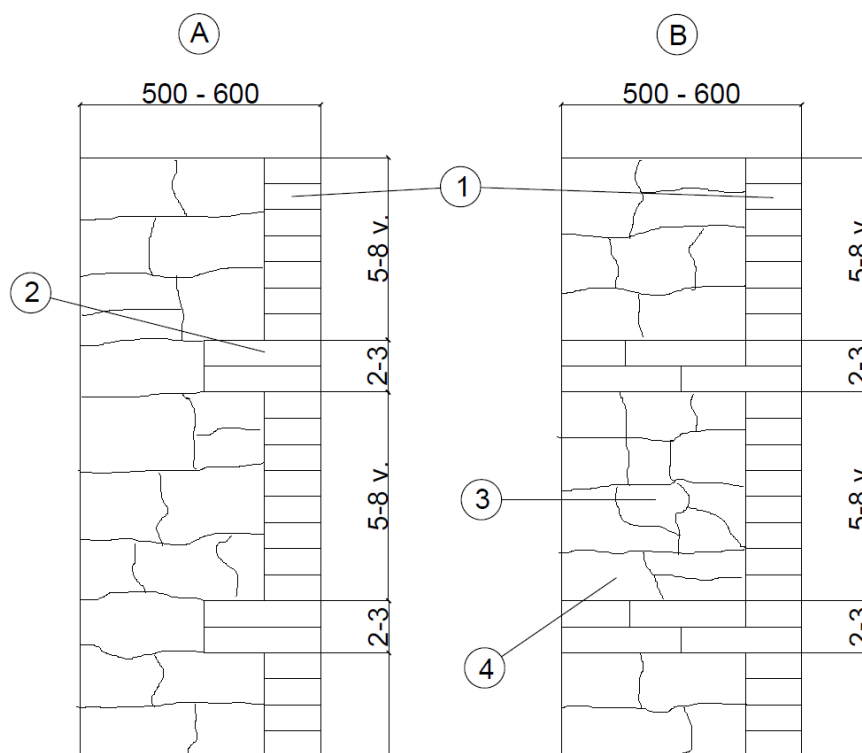
Historizující umělecký sloh 2. poloviny 19. století vycházející z renesance. Tento sloh našel uplatnění při stavbě velkých veřejných budov (divadla, muzea, banky, nádraží, školy atd.). Charakteristickými znaky novorenesančního slohu jsou kamenná nebo kámen napodobující průčelí s vysokými kanelovými sloupy, arkády, kuželové balustrády, ozdobné štíty a sgrafita. Současně z francouzské renesance přicházejí fasády s reznými cihlami mezi omítnutými nebo kamennými architektonickými články a typické komolé jehlancové střechy při nárožích. [5], [25]

Novobarokní stavby se objevují převážně až koncem století a kolem roku 1900. Jedná se o nejmladší z historizujících slohů. Charakteristickými znaky jsou prejzové mansardové střechy s vikýři, kupole, šířkové dispozice s napodobeninami čestného dvora a také ornamentika ve štuku a mřížích. Druhá polovina 19. století a začátek 20. století je dobou rozsáhlé a mnohotvárné stavební činnosti postrádající urbanistické citění. Každá stavba je řešena sama o sobě, bez ohledu na okolní prostředí a bez snahy o splynutí s ním. [5]

Smíšené zdivo

Smíšené zdivo se používalo odedávna. Kromě románského období se setkáváme se smíšeným zdivem ve všech stavebních slohových stylech, tzn. v gotice, renesanci a hlavně v baroku. Je to kombinace zdiva cihelného a kamenného. Zdivo v renesančním období bylo už téměř vždy cihelné, opatřené omítkou. Kámen se používal pouze na ostění oken a portálů. Kdežto v barokním období se cihla považovala za hlavní stavební materiál.

Cihly se zpravidla používaly na vnitřní líc (dobrý podklad pro omítku). Pro zajištění lepšího provázání cihel a kamene se někdy zdivo prokládalo vrstvami cihel tzv. řetěz (obr. 3). Postupem času kombinace smíšeného zdiva přibývalo zejména z důvodu aplikace novodobých materiálů např. kámen – beton, cihla – beton, kámen – beton – cihla. Smíšené zdivo se používalo na sklepní zdivo, sokly, opěrné zdi nebo také ploty. [4], [29]



Obrázek 3: Smíšené zdivo z kamene a cihel – A – ložný lomový kámen spojený vazáky, B – neložný lomový kámen, spojení vyrovnávacími vrstvami cihel, tzv. řetězy; 1 – běhounové vrstvy, 2 – vazáky, 3 – zdivo z lomového kamene, 4 – vyrovnávací vrstvy [35]

3.2. Historické cihly a cihelné zdivo

Na našem území tradice užívání cihel začíná od pozdně románských a raně gotických staveb. V pozdním baroku se již vyskytují stavby zděné výhradně z cihel. Druhá polovina 19. století se vyznačuje nárůstem výstavby vícepodlažních činžovních domů a souvisí s běžným užitím cihelného zdiva. Začíná se uplatňovat režné zdivo nejprve na venkově, pak i jinde, a objevuje se značkování každé cihly tzv. kolkování (obr. 4). Značky na cihlách se objevovaly už v dobách římského impéria. Tyto prvotní kolky lze považovat za označení kvality cihel z dané cihelny. Postupem času kolky převzaly panské a královské cihelny, kde se jednalo o mocenskou propagandu daného šlechtického rodu. Nejčastěji používanými značkami na cihlách jsou různé kombinace písmen nebo číslic. Číslo obvykle vytváří letopočet nebo také výrobní fázi souboru cihel. Písmena jsou často iniciály majitele cihelny. Do iniciál byly obvykle zahrnuty šlechtické tituly, církevní údaje a jiné. U panských cihlen se užívalo i různých znaků a vlastních erbů. [22]



Obrázek 4: Značkování cihel tzv. kolkování [41]

Prvotně rozeznáváme dva základní typy značek, a to pozitivní a negativní. Pozitivní značky vznikají tak, že na dno formy neboli matrice se daný znak vyryje v zrcadlové formě. Po vyklopení surové cihly z formy, tato značka zůstává na čelní straně cihly, ze

které jakoby vystupuje (obr. 5). Naopak při výrobě negativních značek se na dno cihlářské formy umístily kovové lišty s nasazenými kovovými štočky, na kterých byly vyvedené znaky představující značku. Po vyklopení surové cihly z formy, vznikla negativní značka, vstupující do hmoty cihly (obr. 6). [22]



Obrázek 5: Pozitivní značení cihel [40]



Obrázek 6: Negativní značení cihel [40]

4. Průzkumy a ochrana historického zdiva

Každá stavba postupem času chátrá a je třeba ji udržívat a hlavně předcházet destruktivním vlivům působícím na stavbu. Obzvlášť historické stavby, jejichž vznik se datuje několik desítek, ne-li stovek let zpátky je obtížné a složité udržívat v odpovídajícím stavu. Z toho důvodu se hledají způsoby, jak chátrající budovy, z estetické či statické stránky, zachránit, a tím prodloužit její životnost. Poškození jednotlivých budov se po čase projeví a je třeba zjistit příčiny poškození a stanovit vhodné opatření. Proto se provádí průzkumy, které nám o stávajícím stavu či problematice budovy prozradí více. Správné provedení průzkumu je základním předpokladem pro navržení správného opatření. Stavební průzkumy lze v zásadě rozdělit do dvou hlavních skupin na: [16]

- průzkum stavebně – technický;
- průzkum stavebně – historický.

4.1. Stavebně - technický průzkum

Pod tímto pojmem se rozumí komplexní hodnocení objektu, které potom jako celek tvoří stavebně-technický průzkum. Stavebně technický průzkum vychází z normy ČSN ISO 13822 – Zásady navrhování konstrukcí. Do tohoto průzkumu zahrnujeme: [13]

- konstrukční a statický průzkum;
- vlhkostní průzkum;
- průzkum biokoroze objektu.

Stavebně-technický průzkum (STP) provádíme za účelem poskytnutí co nejvíce informací o stávajícím stavebním objektu a jeho vazbách na okolí podle požadavku projektanta nebo jiného objednatele. Tyto informace se požadují v souvislosti s určitým záměrem, který se týká objektu nebo jeho okolí. Záměry mohou být velice rozmanité a STP by měl být rozsahem a náklady přiměřen jejich významu. Nejčastěji se STP vyžaduje u těchto záměrů: [16]

- nástavba nebo přístavba objektu;
- rekonstrukce;
- změna vlastníka objektu;

- zjištění příčin, popřípadě závažnosti poruch objektu;
- nová výstavba v těsném sousedství.

Rozsah průzkumu je vždy omezen nejčastěji cenou průzkumových prací, uvolněním (vyklizením) prostoru pro průzkum, možnostmi provedení sond pro zjištění stavu zakryté části, existencí a možnostmi zkušebních metod apod. Na základě zkušeností z praxe a normových podkladů pak provádíme STP ve třech fázích: [16]

- předběžný STP;
- podrobný STP;
- doplňující STP.

4.1.1. Předběžný STP

Předběžný STP je založený na shromažďování informací o stavebním objektu. Mezi tyto informace zahrnujeme:

- získání podkladů (projektová dokumentace, archivní materiály, verbální dokumentace včetně zjistitelných dodatků a změn, stavební deník);
- vývoj provozního využívání objektu, vč. jeho změn;
- napojení stavby na okolní objekty, vč. inženýrských sítí;
- vizuální prohlídka objektu (ověření stávajícího stavu objektu s projektovou dokumentací, charakteristika vad a poruch konstrukčních prvků);
- fotografickou dokumentaci stávajícího objektu (záznam vad);
- rozhodnutí o opatřeních.

Tento průzkum se provádí za plného provozu objektu. Výsledky předběžného STP slouží jako podklad pro vyhotovení studií modernizace objektu. Také slouží ke zjištění stavu objektu při jeho zakoupení. [16]

4.1.2. Podrobný STP

Podrobný průzkum konkretizuje a doplňuje informace získané předběžným průzkumem, např. druh a kvalitu materiálu konstrukcí, jejich statické parametry. Zároveň doplní před zpracováním projektu předběžný průzkum o:

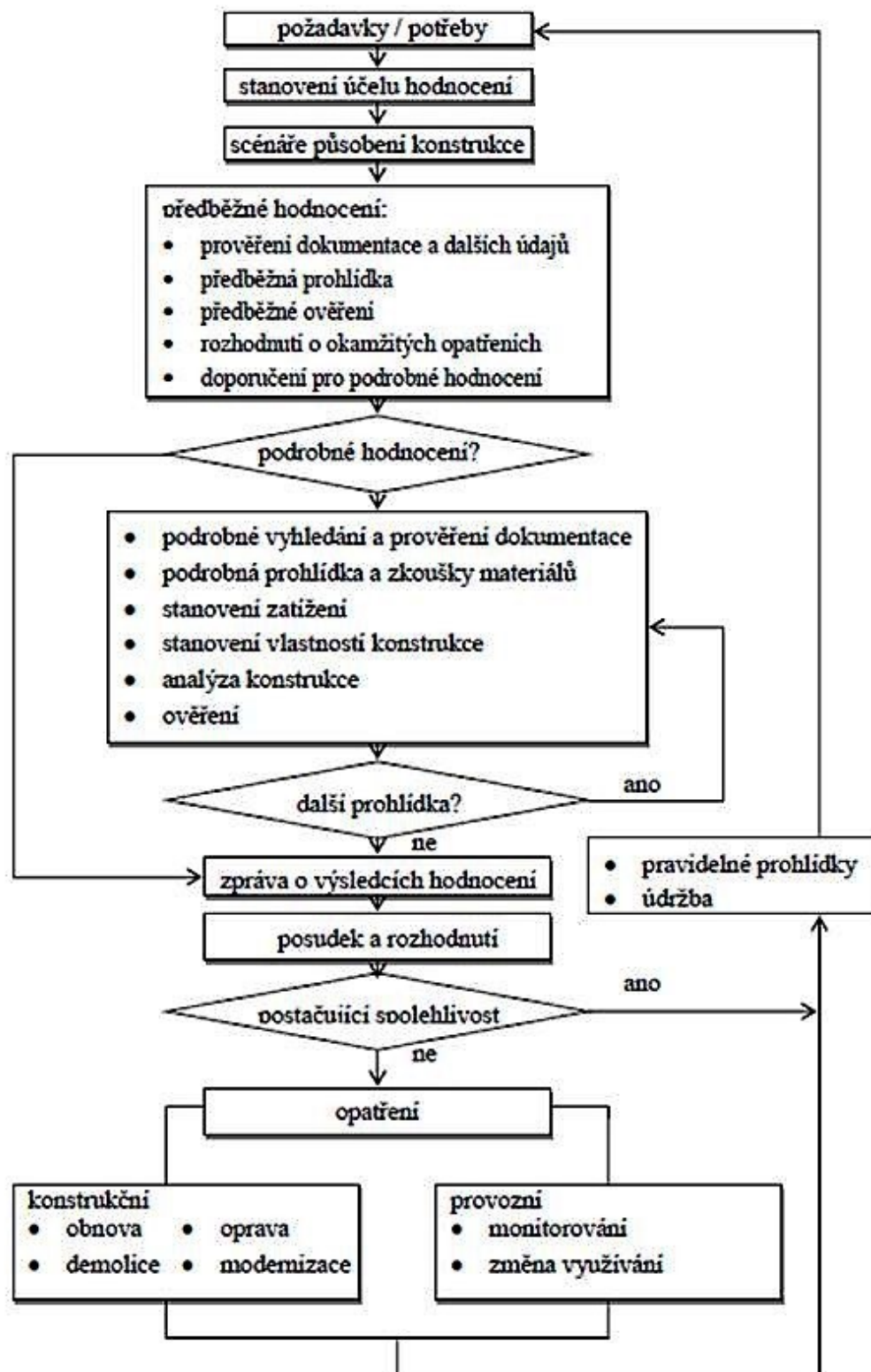
- aktualizaci stávajícího stavu (odlišnosti od předběžného průzkumu);
- fotografickou dokumentaci stávajícího objektu (záznam vad);
- specifikace zjištěných vad a poruch konstrukcí;
- nedestruktivní a destruktivní stanovení fyzikálních a mechanických vlastností materiálů;
- upřesnění geologického profilu podloží včetně hydrogeologických poměrů;
- získání podkladů ke zpracování statických výpočtů.

Veškeré činnosti této etapy průzkumu objektů se provádí za běžného provozu nebo částečně omezeného provozu. Z podrobného STP může být vznesen požadavek na použití speciálních diagnostických metod, např. chemické rozborů, které nebyly předpokládány v předběžném průzkumu. [16]

4.1.3. Doplnující STP

V rámci této etapy průzkumu se prakticky provádí pouze přehodnocení odlišných závěrů předchozích průzkumů a doplnění získaných poznatků. Tento druh stavebního průzkumu se provádí také v místech, která nejsou pro diagnostickou prohlídku přístupná. Doplnující průzkum se tedy může uskutečnit až při provádění samotné rekonstrukce nebo sanace, kdy dojde k úplnému nebo částečnému odkrytí konstrukční části stavebního objektu. [16]

Podrobnější popis metodiky nalezneme v normě ČSN ISO 13 822 - Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí (obr. 7).



Obrázek 7: Vývojový diagram hodnocení existujících konstrukcí [46]

4.2. Stavebně – historický průzkum

U objektů, které jsou kulturní památkou, či lze předpokládat určitou historickou hodnotu, se musí v předstihu provést nejdříve stavebně-historický průzkum před stavebně-technickým průzkumem. Smyslem tohoto průzkumu je přispět k poznání historie objektu, umožnit jeho zařazení do vývoje naší architektury a také odhalit změny jeho podoby v jednotlivých obdobích. Měl by upozornit na cenné části stavby, ať už známé, viditelné nebo skryté za mladšími konstrukcemi a přestavbami. Náročný stavebně-historický průzkum je podmíněný širokými teoretickými znalostmi vývoje architektury všech historických slohů, ale také praktickou zkušeností s průzkumy různých stavebních památek. Při provádění stavebně-historického průzkumu je důležité: [16]

- hlubší poznání stavebního vývoje hodnoceného objektu;
- zjištění stáří jednotlivých vertikálních i horizontálních konstrukcí;
- určení postupu narůstání konstrukcí, proměn a vzájemného vztahu;
- poznání šíře a rozsahu dřívějších úprav.

Stavebně-historický průzkum (SHP) je soubor všech vědecky dosažitelných poznatků o historické stavbě v dané době. V obecné mluvě se vžil označení „pasport“, které je velice typický, jelikož tento materiál má provázet historickou budovu při dalších adaptacích a rekonstrukcích. Dále může být aktualizován a upřesňován podle současného stavu poznání. Komplexní průzkum stavebních památek, který je definován Národním památkovým ústavem (NPÚ) zahrnuje: [3]

- archivní rešerši (obsahuje literární prameny vážící se k památce);
- stavebně-historický průzkum (vychází ze závěrů archivní rešerše, popisuje architektonické pojetí stavby, její konstrukční uspořádání a stavební vývoj, zjišťuje poškození stavby atd.);
- archeologický průzkum (provádí se, jsou-li nalezeny pozůstatky rané stavební činnosti);
- uměleckohistorický (kunsthistorický) průzkum (zabývá se sochařskou výzdobou exteriéru a interiéru architektonického díla, analyzuje výtvarné pojetí díla atd.);
- restaurátorský průzkum (zaměřuje se převážně na samotnou hmotu památky, vychází ze zjištění předchozích 3 typů průzkumů a vybírá z nich ty údaje, které

ovlivňují volbu metod, přiměřených pro restaurování materiálů použitých na opravovaném objektu atd.).

Všechny zjištěné informace, jež z průzkumu vyplývají a jsou nezbytné pro volbu toho nejvhodnějšího postupu opravy památky a pro volbu optimálních restaurátorských prostředků. [13]

Výsledkem stavebně-historického průzkumu je zpráva, která obvykle obsahuje: [16]

- historii stavby (z těchto údajů lze usuzovat předpokládané stavebně-konstrukční uspořádání, stáří jednotlivých konstrukcí, místa přestaveb);
- architektonický rozbor stavby (obsahuje podrobný popis exteriéru i interiéru s udáním architektonických a výtvarných hodnot, které se na památce dochovaly);
- umělecko-historické hodnocení (zahrnuje třídění a hodnocení všech získaných údajů z hlediska umělecké historie a slohových vývojových etap stavby);
- stavebně-technický popis (souhrn základních zjištění o stavebním stavu památky v době zpracování průzkumu);
- půdorysy a pohledy (v měřítku 1:200 s grafickým nebo barevným vyznačením původního zdiva a významných architektonických detailů);
- syntetické plány (zpracovávají se u významných památkových staveb).

5. Poruchy a vady zděných konstrukcí

5.1. Degradace kamene

Zvětrávání je proces, při kterém dochází k degradaci (rozpadu) hornin vlivem působení mechanických, fyzikálních nebo chemických sil. Tímto přirozeným postupem stárnutí procházejí všechny horniny, vystavené vlivům okolního prostředí. V případě historických staveb však má tento korozní proces často osudné následky.

Vlastní korozní faktory lze rozdělit například podle převládajícího typu degradace na mechanické, fyzikální, chemické nebo také biologické. Následky degradačního procesu můžeme členit podle způsobu rozpadu horniny. Dochází-li k rozpadu horniny, aniž by nastaly změny v jejím chemickém složení, hovoříme o mechanické, respektive fyzikální

degradaci. Pokud nastávají změny v mineralogickém složení kamene, jde o degradaci chemickou, případně biochemickou. Naznačit přesnou dělicí čáru jak mezi působením jednotlivých degradačních faktorů, tak mezi způsoby degradace kamene je velice obtížné, jelikož obvykle na kámen spolupůsobí větší množství negativních činitelů z různých výše jmenovaných skupin, a proto jsou následky jejich vlivů různorodé. V našich podmínkách jsou památky z kamene vystaveny: [3]

- teplotním změnám (střídání vysokých a nízkých teplot);
- vodě (volné nebo vázané);
- krystalizujícím solím (sírany, dusičnany a chloridy);
- plyným exhalátům a nečistotám z ovzduší (oxidy síry a dusíku);
- větru (mechanická degradace kamene);
- živým organismům (flóry i fauny).

Teplotní změny

Poškození kamene v důsledku střídání vysokých a nízkých teplot způsobuje vznik napětí ve struktuře materiálu. Kámen je heterogenní materiál, což je jeho nevýhodou, jelikož u jednotlivých složek mohou vznikat různé délkové změny, které způsobují porušení této struktury. Problematická je i nízká teplotní vodivost, kdy se při jednostranném ohřevu, vlivem rostoucího teplotního gradientu, uvolní vzniklé napětí tvorbou trhlin. Kámen tak ztrácí svou pevnost a zvyšuje se jeho porozita. [3]

Působení vody

Voda je jedním z nejagresivnějších činitelů, kteří se podílejí na poškozování historických staveb. Tato voda je ve struktuře kamene zastoupena jako voda vázaná a volná. Vázaná voda je přirozenou součástí kamene, která tvoří na povrchu stěn pórů tenký film vlivem absorpčních sil, které brání jejímu pohybu a krystalizaci. Tato voda se nepodílí na degradaci kamene. Naopak voda volná vniká do struktury kamene nejčastěji vztlínáním nebo absorpcí během dešťů. Jak už jsem zmiňovala, voda se může volně pohybovat a při teplotách pod bod mrazu přechází do pevného stavu, mění se v led. Přitom dochází k jejímu rozpínání, objem vody narůstá až o 10 %, a tím vznikají tzv. krystalizační tlaky a trhliny (obr. 8). [3]



Obrázek 8: Působení cyklických změn teploty u vlhkého materiálu [17]

Krystalizace solí

Krystalizující soli jsou transportovány vodou ve formě vodorozpustných solí (sírany, dusičnany, chloridy). Obvykle se soli dostávají do kamene rozpuštěné ve vztlínající nebo dešťové vodě, a to z podloží (zemědělská hnojiva, posypové soli, z činností půdních bakterií), anebo z dešťové vody jako plynné exhaláty (oxidy síry a dusíku). Z chemického hlediska jsou krystalizující soli hydráty, které jsou silně hygroskopické. Při zvýšené teplotě ovzduší, kdy se kámen zahřívá, voda putuje k povrchu, odpařuje se a v ní přítomné soli krystalizují (obr. 9). Při poklesu teploty vzniklé soli opět hydratují. Tyto procesy se mohou mnohokrát opakovat a způsobují degradaci kamene. [3]



Obrázek 9: Krystalizující soli [17]

Plynné exhaláty

Agresivní plyny z ovzduší, oxidy síry a dusíku, jsou jedním z prvotních zdrojů nebezpečných hygroskopických solí v kameni. Oxidy síry vznikaly před několika lety hlavně při průmyslovém spalování fosilních paliv, dnes jsou tyto spaliny odsiřovány a koncentrace klesá. Naopak koncentrace oxidů dusíku stále stoupá, kvůli rozmachu automobilové dopravy. Ukládání plynných složek na povrchu horniny může být provedeno dvěma způsoby, a to mokrou nebo suchou cestou.

U mokrého ukládání vznikají reakcí s vlhkostí slabé anorganické kyseliny (sírová a dusičná), které dopadají na povrch ve formě kapek, povrchově naleptávají kámen a reagují s nestabilními složkami nejčastěji za vzniku sádrovce (obr. 10).

U suchého ukládání je exhalát přímo adsorbován na povrch kamene, kde reakcí s vodou opět vznikají slabé anorganické kyseliny a degradace probíhá podobně jako u mokré depozice za vzniku sádrovce. [3]



Obrázek 10: Jehličkovité krystalky sádrovce [1]

Větrná abraze

V našich klimatických podmínkách není větrná abraze častá a dochází k ní převážně u měkkých hornin horských objektů a solitérních odkrytých konstrukcí, které stojí ve větru přístupné krajině. V těchto případech je vítr příčinou mechanické degradace kamene, kdy dochází k obrušování a uvolňování zrna z povrchu kamene (obr. 11). Takto poškozený povrch je lépe přístupný ostatním degradačním činitelům. [3]



Obrázek 11: Větrná abraze – Solná pláň – Salar de Uyuni, Bolívie (skalní hřib) [45]

Působení mikroorganismů a biologičtí činitelé

Mikroorganismy se nacházejí v místech zvýšené vlhkosti a zvětšují účinek vlhkostní degradace (obráz. 12). Vždy dochází k interakci metabolitů organismů s anorganickými látkami prvků zdiva, horninovými cementovými minerály. Takto vzniká desková (laminární) koroze. Některé druhy mikroorganismů narušují povrch a vytvářejí biologické povlaky, což přispívá k většímu množství importované vody do zdiva a zintenzivňuje degradaci při zmrazovacích cyklech.

Mezi biologické činitele patří, lišejníky, mechy, řasy, houby a plísňe. Odpadními látkami zvětšují pórovitost, a tím i nasákavost materiálu, narušují strukturu zdiva i povrchových úprav. Z chemického hlediska jsou pro kámen nejnebezpečnější bakterie, a to bakterie sulfatační a nitrifikační. Sirné a nitrifikační bakterie uvolňují minerální kyseliny, které rozpouštějí křemičitany a hlinitany vápenaté, ty přemění na objemově větší vodorozpustné soli, což vede ke zvětšení pórovité struktury. [3]



Obrázek 12: Působení mikroorganismu na pískovcový (godulský) balkonový sloupek

5.2. Degradace stavebních hmot z nepálené hlíny

Největším nepřítelem památkově chráněných staveb z nepálených jíílů jsou venkovní povětrnostní podmínky, především voda v ní rozpuštěné soli a také vítr. V případě, že je

stavební prvek z jílového materiálu vlhký a zároveň obsahuje i organické složky, bývají pozorovány také negativní vlivy spojené s činností mikroorganismů.

V našem podnebném pásmu napadá jíly, použité na konstrukce staveb či aplikované jako jejich povrchová ochrana, především voda, a to voda dešťová i vztlínající. Pro hliněné zdivo je nebezpečnější voda dešťová, obzvlášť pokud je hnána větrem (obr. 13). Tato erozivní činnost může vést až k úplnému rozmytí a rozbřednutí jílových materiálů, a tím např. sesutí zdiva. Výkyvy teplot, respektive vlhkosti, způsobují opakovanou krystalizaci a hydrataci těchto sloučenin (síry, dusíku a chloridu) v povrchovém pásmu jílové hmoty, tedy tam, kde dochází k odpařování vody. Obvykle nezůstává jen u poškození povrchové vrstvy jílu, ale koroze postupuje hlouběji do jeho nitra. [3]



Obrázek 13: Degradace příčky z vepřovic – působením povodňové vody se příčka „roztékla“ [44]

5.3. Degradace stavebních hmot z pálené hlíny

Pálené keramické materiály umístěné v exteriéru podléhají stejným korozním vlivům jako ostatní silikátové hmoty. V případě pálených cihel určených ke zdění jsou příčiny, způsob a následky koroze nejbližší kamennému zdíciému materiálu. Pokud je cihla dlouhodoběji zvlhčena, může degradovat následkem hydrolýzy pojivové sklovité matrice,

silikátového skla. Toto riziko se vyskytuje také u podlahovin z pálených keramických hmot. V jejich případě je však zjevně tím nejvíce poškozujícím faktorem sám člověk. Pochůzná plocha je silně mechanicky namáhána, což vede k obrušování – abrazi keramické hmoty a často i k praskání. Jestliže jsou podlahoviny či obkladové hmoty povrchově chráněny glazurou a pokud k nim neprosákne voda z podzákladí objektu, je jejich životnost dlouhodobá, a to i v exteriéru.

Dalším stavebním materiálem, který je bezprostředně a celoročně vystaven rozmarům počasí je střešní krytina. Působí na ni převážně vlhkost, střídání vysokých a nízkých teplot a také znečišťující příměsi z ovzduší. Častým projevem degradace střešní krytiny je odlupování po vrstvách, tzv. lístkování. Jeho příčinou je převážně skrytá strukturální vada materiálu, jinak řečeno laminární vrstevnatost. Vzniká při výrobě tašek (tažením) nebo je důsledkem nevhodně voleným složením výchozí keramické suroviny. Tvorba výkvětů, tzv. eflorescence vzniká vlivem chemické koroze, kdy dochází k přeměně oxidu vápenatého z páleného materiálu na hydroxid, který přechází na povrch tašek. Na povrchu střešní krytiny se mění na uhličitán vápenatý a ten krystalizuje v pórech střepu a ucpává je. Další častou degradací střešních krytin, pokud nejsou tašky chráněny glazovaným povrchem, je výskyt mikroorganismu, především mechů. Vhodným podkladem k uchycování bývá jemně porézní střešní kryt. [3]

5.4. Degradace malt a omítek

Poškození exteriérovým podmínkám vystavených stavebních hmot je proces přirozený. Minerální malty a omítky, které jsou ve styku s korozními faktory klimatických podmínek, korodují v důsledku působení obdobných vlivů jako jiné běžně používané silikátové stavební hmoty, například kámen a cihly.

Nejzávažnější škody působí na minerálních stavebních hmotách voda, vodorozpusťné soli a plynné složky ovzduší. Historické omítky a malty jsou v naprosté většině případů poničeny v důsledku kolísání obsahu kondenzační nebo kapilární vlhkosti v materiálu či z důvodu dlouhodobého zavlhčení, případně zamokření samotné stavební konstrukce. V místech, kde jsou minerální malty vystaveny těmto podmínkám, je možné objevit řadu různých typů škod, od mrazových (trhliny) přes poškození krystalizujícími solemi po vyplavení samotného pojiva nebo poškození vlivem asimilujících mikroorganismů.

povlaků. Spolupůsobení vlhkosti, oxidu uhlíku a síry ze vzduchu vede u některých druhů exteriérových malt k chemickým přeměnám původně nerozpustné pojivové složky na látky ve vodě rozpustné, které jsou vodou vyplavovány nebo vytvářejí nové sloučeniny nové, které mohou mít i větší objem. Konečným výsledkem je pak rozpad malty nebo omítky (obr. 14). Nezřídka tak dochází k úplnému zániku kulturně i historicky cenné stavební hmoty. [3]



Obrázek 14: Degradace omítky vztlínající vlhkostí a působením povětrnostních vlivů

5.5. Trhliny ve zděných konstrukcích

Trhliny jsou viditelným důkazem porušení konstrukce, které jsou způsobeny překročením meze pevnosti stavebního materiálu. K těmto jevům může dojít, např. použitím materiálu s nedostatečnou pevností, degradací materiálu, vnějšími vlivy, zvýšením zatížení nebo neodbornými zásahy do konstrukce.

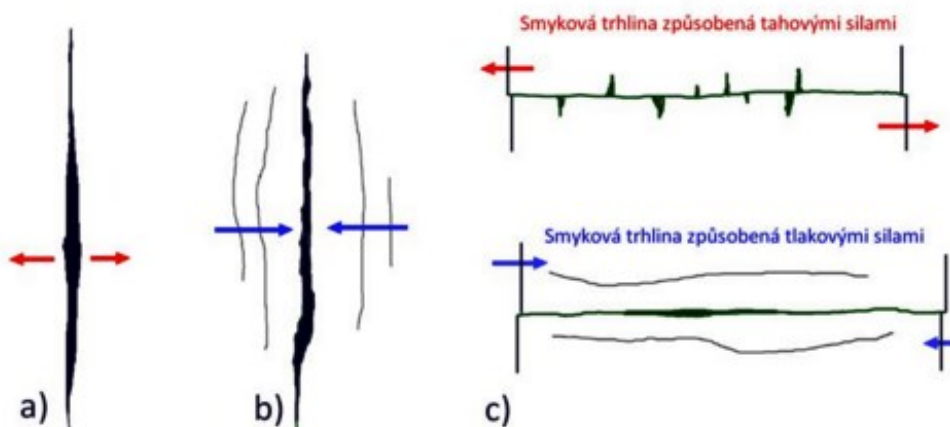
Pokud chceme zjistit příčinu poruchy konstrukce, musíme nejdříve zjistit, kde a v jakém množství se trhliny v konstrukci vyskytují. Poté musíme zaznamenat jejich tvar, průběh, délku a šířku. Trhliny mohou a nemusí ohrožovat stabilitu celého objektu. Pokud na objektu nalezneme trhliny, je nutné situaci nepodceňovat a provést stavebně technický průzkum pro zjištění rozsahu škod a možných příčin poruch konstrukce. Trhliny můžeme rozdělit podle vlivu na budovy (neškodné, nebezpečné) a z hlediska způsobu namáhání na (tlakové, tahové a smykové). [43]

Trhliny neškodné neovlivňují statiku ani životnost budovy, ale poškozují vzhled konstrukcí. Tyto trhliny vznikají převážně v omítce, a pokud nevznikly poruchou zdiva, jsou nejčastěji způsobeny smršťováním. Příčinou smršťování je nejčastěji špatná technologie přípravy omítky, kdy je při zpracování příliš velké množství vody, jemných částí anebo rychlé vysušování sluncem nebo větrem. Smršťování nastává rychlým úbytkem vlhkosti v maltě, a tím dochází ke zmenšení jejího objemu a vytváří se shluk drobných trhlin, které směřují na všechny strany (obr. 15). [23]



Obrázek 15: Trhliny v omítce způsobené smršťováním [39]

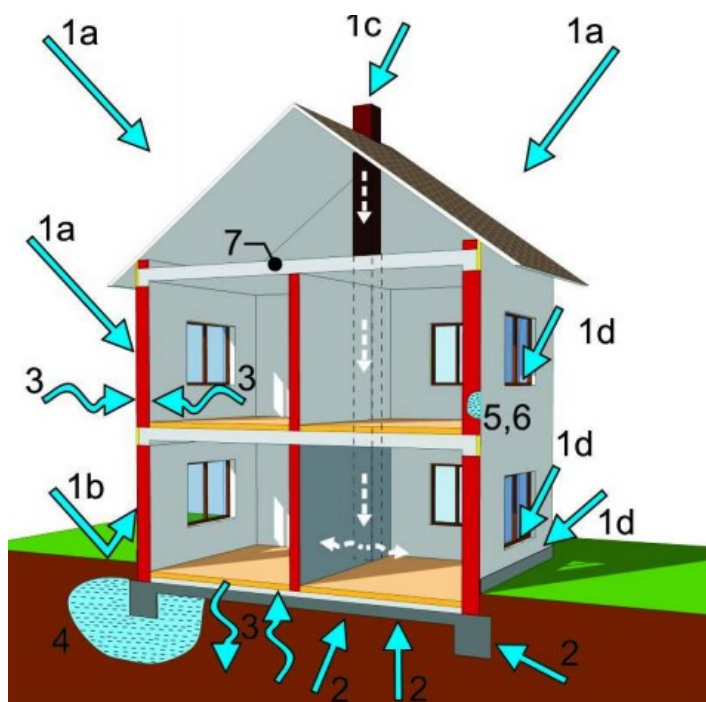
Tlakové trhliny jsou doprovázené rozdrčenými částmi materiálu, například se vyskytují v blízkosti uložení stropů a překladů, kde dochází k velkým tlakovým napětím. Při poklepu na konstrukci vydávají dutý zvuk. Tyto trhliny jsou pro konstrukci nejnebezpečnější. Tahové trhliny se mohou vyskytovat v celém rozsahu konstrukce a jsou způsobeny svislým i vodorovným zatížením. Tahové trhliny mají ostře ohraničené hladké neporušené okraje a rozevírají se nejvíce uprostřed. Stejně jako tlakové trhliny při akustickém průzkumu konstrukcí mají dutý zvuk. Trhliny smykové se nejčastěji vyskytují u suterénních stěn, způsobené vodorovným tlakem zeminy a nerovnoměrným sedáním. Typickými znaky smykových trhlin jsou rozdrčené okraje, dochází k posunutí části zdiva v místě trhliny a při akustickém průzkumu tyto trhliny nevydávají žádný zvuk (neduní). Jednotlivé druhy trhlin nalezneme na (obr. 16). [23], [43]



Obrázek 16: Druhy trhlín – a) tahová trhлина; b) tlaková trhлина; c) smykové trhliny způsobeny tahovými a tlakovými silami [43]

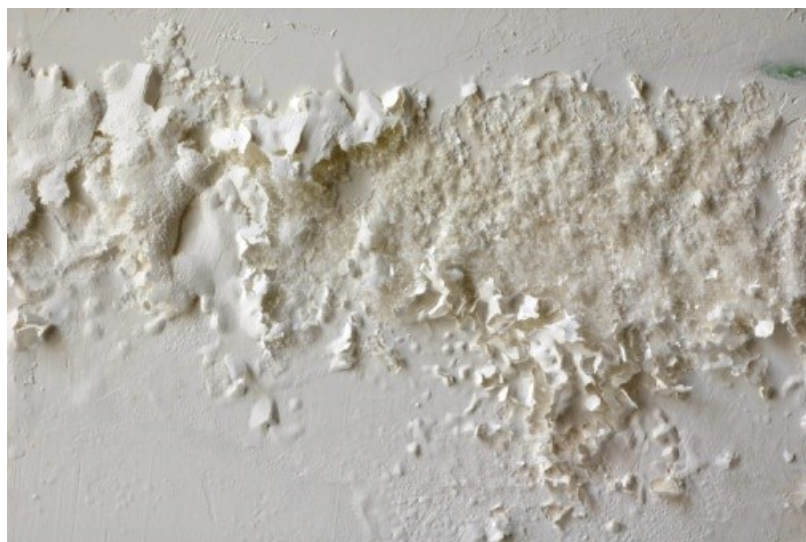
5.6. Zvýšená vlhkost ve zděných konstrukcích

Zejména u starších staveb, v některých případech u nezodpovědně provedených novějších staveb, se setkáváme se vztlínající vlhkostí. Pokud je svislé zdivo, kvůli nekvalitní nebo chybějící hydroizolaci spodní stavby v kontaktu s vlhkostí, dochází k tzv. kapilární elevaci (vzlínání) vlhkosti těmito konstrukcemi. Vlhkost se do objektu dostává nejen z okolní zeminy a podzákladí, ale i srážkovou vlhkostí, provozní vlhkostí, difuzí vodních pár atd. Na obrázku 17 je znázorněno, které druhy vlhkosti rozlišujeme. [37], [38]



Obrázek 17: Zdroje vlhkosti – 1 voda srážková (1a-hnaná větrem, 1b- odstříkující, 1c- vnikající komínem, 1d-smáčející); 2 voda vztlínající; 3 kondenzovaná a difuze; 4 hydrostatický tlak; 5 hygroskopicita materiálu; 6 adsorpce; 7 zabudovaná vlhkost [37]

S vlhkostí zdi souvisí také zasolení zdiva. Různé druhy vodorozpustných solí (sírany, dusičnany a chloridy) se do zdiva dostávají vztlínající vodou. Solí ve zdivu postupně krystalizují, zaplňují póry v cihlách a omítkách, a tím znemožňují rychlé vysychání a podporují vztlínání vody stále výše do konstrukce. Z toho důvodu se na zdech tvoří vlhkostní mapy se solnými výkvěty (obr. 18). Ze začátku tyto výkvěty jsou pouze neestetické, ale později poskytují výborné podmínky pro růst plísní a následuje rozpad omítky i zdiva. [37]



Obrázek 18: Solné výkvěty na zdi, upozorňující na problém s hydroizolací [38]

6. Metody zjišťování vad a poruch zděných konstrukcí:

V praxi používáme zkušební metody k identifikaci mechanických, fyzikálních a chemických vlastností stavebních materiálů a konstrukcí. Tyto metody můžeme rozdělit z hlediska zásahu na nedestruktivní, semidestruktivní a destruktivní.

Čistě nedestruktivními metodami nedochází k poškození struktury materiálu. Při zkoušení nanejvýš dochází k poškození povrchové oblasti materiálu a to přípravou zkušebního místa nebo zkušebním zařízením. Semidestruktivním zkoušením dochází k částečnému porušení struktury odebraného vzorku a během zkoušky nedojde ke snížení únosnosti nebo stability konstrukce. K poškození struktury materiálu a konstrukce dochází i při provádění destruktivních zkoušek. Tyto zkoušky se provádí ve standardním, ale i v nejvíce namáhaném nebo oslabeném místě. Při odběru vzorku se musí dbát na to, aby nebyla zásadně ovlivněna únosnost ani stabilita konstrukce. [14], [16]

6.1. Nedestruktivní zkušební metody

V současnosti se tyto metody používají v praxi především při diagnostice betonových a železobetonových konstrukcí, ale i při diagnostice ostatních materiálů, např. zděných konstrukcí. Čistě nedestruktivní metody lze aplikovat pro získání pevnostních charakteristik zabudovaného betonu, tvaru, množství a lokalizace výztuže, občas také pro odhalení případných nehomogenit betonu či defektů konstrukcí. Z důvodů absence

využitelných kalibračních vztahů u čistě nedestruktivních metod, založených na průchodu vlnění materiálem, je využití těchto metod pro ostatní konstrukce spíše výjimkou. Jednotlivé nedestruktivní metody pro zděné konstrukce jsou zejména následující: [14], [16]

- vizuální prohlídka;
- měření šířky trhlin (fotodokumentace a nákresy trhlin, sádrová destička, příložený sázecí deformetr, strunový tenzometr);
- elektrodynamické metody (ultrazvuková impulsová metoda průchodová, rezonanční metoda) atd.

6.1.1. Vizuální prohlídka

Jedná se o nejméně nákladnou, ale důležitou metodu. Zahrnuje především seznámení pracovníka provádějícího diagnostiku s konstrukcí. Důležité je zaměření na viditelné poruchy a poškození konstrukce nebo její části. U zděných staveb se jedná o viditelné trhliny, u nichž se sleduje velikost a průběh trhlin, vazbu zdiva často narušenou zásahem do konstrukce v minulosti, známky zvětrávání, úlomky zdících prvků, drobení malty ve spárách, vlhkost zdiva a výkvěty apod. Další metoda k ověření kvality povrchu zkoumané konstrukce je akustická trasovací metoda. V závislosti na akustické odezvě od poklepu ocelovou kuličkou na povrchu konstrukce, se lehce určí odtržená nebo dutá místa. Při prohlídce se může stát, že nalezneme trhlínu nebo jinou poruchu ve špatně dostupném místě. Pro takové případy se používají tzv. endoskopy, které nám pomáhají se do takových prostor dostat. Endoskopy obecně dělíme do tří skupin, a to na boroskopy, fibroskopy a videoskopy. Zásadní rozdíl je ve způsobu přenosu obrazu. U neohebných boroskopů je přenos zajištěn prostřednictvím vnitřního optického systému tvořeného optickými čočkami. Naopak u fibroskopů a videoskopů se obraz přenáší pomocí svazku optických vláken, což umožňuje vysokou ohebnost sondy. Videoskop taktéž umožňuje provádění záznamu prohlídky. Tato metoda je do značné míry ovlivněna subjektivním pohledem pracovníka, proto je důležité, aby průzkum prováděl zkušený odborník s letitou praxí. [14]

6.1.2. Měření šířky trhlin

Trhliny jsou projevem napětí, které překročilo mez pevnosti daného materiálu při určitém způsobu namáhání. Příčinami vzniku trhlin u zděných konstrukcí jsou např. špatné

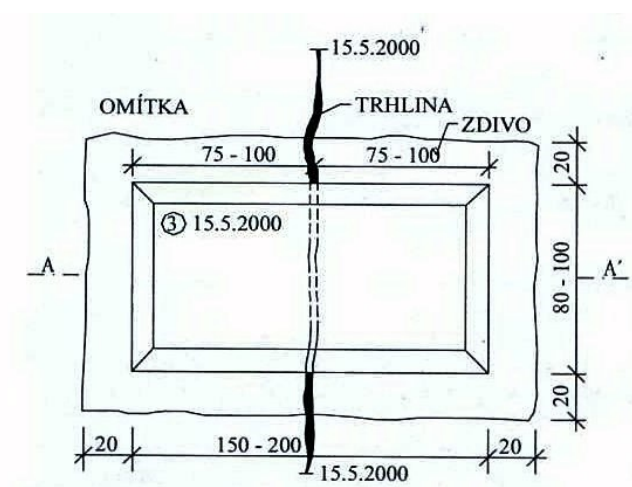
technologické postupy při výstavbě, objemové změny způsobené vlhkostí nebo také destrukce některých částí vlivem přetížení. Sleduje se především šířka a délka trhlin, jejich průběh, četnost a především pak jejich proměnlivost v čase. Ke sledování těchto jevů se používá celá řada kontrolních měřících přístrojů. [14],[16]

Fotodokumentace a nákresy trhlin

Trhliny se sledují v daných časových intervalech. Pro snadnější orientaci sledování trhlin v čase se každá trhlina označí barvou a na konstrukci se zaznamená její délka. Při každé kontrole se pořídí fotodokumentace nebo se tvar a rozmístění trhlin zakreslí. Tímto způsobem zjistíme příčinu vzniku trhliny.

Sádrová destička

Jedná se o metodu, která slouží k určení, zdali se jedná o trhlínu pasivní či aktivní. Sádrová destička (obr. 19) se osazuje na obnažené a navlhčené zdivo, kolmo na směr ověřované trhliny. Destička má přesahovat na obou stranách zdiva o 80 až 100 mm a její tloušťka by měla být 10 až 15 mm. Při instalaci destičky je nutné zajistit její správné ukotvení k povrchu zdiva na obou stranách sledované trhliny. Na povrchu destičky se vyznačí datum osazení a identifikační značka. Sádrové destičky je nutné kontrolovat v určitých časových intervalech, kdy se ověřuje správná funkce destičky, vznik a rozvoj šířky trhliny v čase. Pokud dojde k prasknutí destičky v místě trhliny a trhlina se dále rozevírá, jedná se o aktivní trhlínu. [16]



Obrázek 19: Schéma sádrové destičky [14]

Příložný sázecí deformetr

Další možnosti měření změny šířky trhlin je pomocí příložného sázecího deformetru, kdy se nejdříve přichytí měřicí terče na konstrukci kolmo na směr trhliny, a poté se do nich při samotném měření vkládají hroty nosného rámu úchylkoměru. Tento rám má jeden pevný hrot a druhý hrot pohyblivý. Pohyb posuvného hrotu je mechanický přenášén do úchylkoměru jako změna čtení délky měření. Před samotným začátkem měření je nutné provést kalibraci měřené délky za pomoci srovnávacího ethalonu. Srovnávací ethalon je invarová tyč, která má přesně definovanou vzdálenost mezi dvojicí hrotů. Příložný sázecí deformetr můžeme vidět na obrázku 20. [14], [16]



Obrázek 20: Příložný sázecí deformetr [14]

Strunový tenzometr

Z dlouhodobého hlediska se často volí pro měření stavebních objektů strunové tenzometry, z důvodu stálosti, citlivosti a nezávislosti na délce přívodů. Principem je měření frekvence vlastních kmitů ocelové struny, která je předpjatá mezi dvěma pevnými body (obr. 21). Vzdálenost mezi těmito dvěma body se nazývá měrná délka tenzometru. Po osazení je struna rozkmitána silovým impulzem, vyvolaným krátkým proudovým pulzem cívky, která je umístěná do středu délky struny. Aby mohl být zpracován signál, přepojí se vedení od cívky na vstup obvodu. Tlumené kmity struny vyvolávají v cívce napětí o stejném kmitočtu. Kmitočet je v měřicím obvodu vyhodnocen digitálně jako frekvence nebo perioda. Na základě takto naměřených údajů se určí velikost sledované deformace. [10], [14]



Obrázek 21: Strunový tenzometr [28]

6.1.3. Elektrodynamické metody

Elektrodynamické metody jsou založeny na principu snímání a vyhodnocování účinků mechanického vlnění, vyvolaného ve zkoušeném materiálu mechanickým podnětem. Tyto metody se používají k identifikaci poruch zkušebního vzorku nebo celé konstrukce.

Ultrazvuková impulzová metoda průchodová

Tato metoda je jednou z metod, určených pro stanovení vlastností stavebních materiálů a také vlastností a poruch dílců nebo celých konstrukcí. Tato metoda využívá mechanického vlnění s frekvencí 20 kHz, jehož rychlost při průchodu stavebním materiálem je závislá na fyzikálně mechanických vlastnostech materiálu a na přítomnosti poruch v konstrukci. Výhodou této metody je zejména to, že se jedná o čistě nedestruktivní metodu se snadným prováděním. Nevýhodou je interpretace výsledků ve složitějších případech a citlivost ultrazvuku na řadu vnějších vlivů. [2], [10]

Rezonanční metoda

Princip rezonanční metody spočívá ve vybuzení vlastních rezonančních frekvencí ve zkušebním vzorku. Vzniklé vlnění (kmitání) může být podélné, příčné a kroutivé. Výstupem této metody je vlastní frekvence kmitání a z ní vypočítaný dynamický modul pružnosti. [6], [10]

6.2. Semidestruktivní zkušební metody

Při aplikaci semidestruktivních metod dochází k poměrně málo významnému poškození konstrukcí a z tohoto důvodu nepředpokládáme ohrožení stability ani únosnosti objektu. Mezi semidestruktivní metody, používané pro diagnostiku zděných konstrukcí patří především:

- tvrdoměrné zkoušky (Waitzmannův tvrdoměr, Schmidtův tvrdoměr, vnikací metody);
- vrtací zkoušku ke stanovení pevnosti zdících prvků a malty;
- odtrhové metody atd.

6.2.1. Tvrdoměrné zkoušky

Dříve používané metody byly založeny na vnikání indentoru nebo otisku tělesa do struktury materiálu, nejčastěji betonu. Takzvané špičákové metody (Maškův nebo Cigánkův špičák) jsou založeny na principu zaražení špičáku do cementové matrice. Dnes se tyto metody již běžně nepoužívají. Nejpoužívanější metodou v oblasti diagnostiky zděných konstrukcí je metoda Waitzmannova a Schmidtova tvrdoměru. [2], [27]

Waitzmannův tvrdoměr

Waitzmannův tvrdoměr je modifikované Poldi kladívko, využívané původně ke zjišťování tvrdosti oceli. Této metodě se říká metoda vtiskací. Úderem kladiva je vyvozena síla na razník, na jehož konci jsou dvě ocelové kuličky. Jedna kulička zanechá otisk na povrchu zkoušeného materiálu a druhá na ocelové tyčince – etalonu. Etalon slouží k určení síly, která byla vyvozena úderem kladiva. K vyhodnocení zkoušky se použijí oba otisky a výsledná pevnost se odečte z grafu nebo korelační tabulky. Dnes se vtiskací metody pro zděné konstrukce téměř nepoužívají. [6]

Schmidtův tvrdoměr

V současnosti jsou nejpoužívanějšími metodami odrazové metody, především pak Schmidtův tvrdoměr. Pro účely zkoušení cihel byl vyvinut typ Schmid LB. Principem měření je hodnota odskoku razníku od konstrukce, a tím stanovení hodnoty tvrdosti

materiálu. Tato metoda je vhodná pouze pro cihly plně pálené, jelikož v případě tvarovek je nutné si uvědomit, že výsledky jsou značně zkreslené kvůli otvorům uvnitř prvků. [14]

Vnikací metody

Poměrně vhodnou metodou se jeví metoda vtlačování definovaného přípravku, tzv. indentoru. V praxi se nejlépe osvědčil válcový indenter s průměrem 4 mm, který je rozdělen ryskami po 5 mm. K zatlačení indentoru se vynaloží energie 1 J, která odpovídá úderu 1 kg kladiva ze vzdálenosti 100 mm. Jelikož kalibrační vztahy a tudíž i výsledky mohou být výrazně ovlivněny osobou provádějící zkoušku, byl z toho důvodu vyvinut kyvadlový indenter, který zaručuje konstantní energii úderu. [14]

6.2.2. Vrtací zkouška ke stanovení pevnosti zdících prvků a malty

K tomuto účelu byly vyvinuty dva typy příklepových vrtaček, které se zavrtávají do upravené ložné spáry nebo cihelného prvku. Prvním typem je Kučerova vrtačka, která připomíná běžné ruční vrtačky, s tím rozdílem, že má v sobě zabudované počítadlo otáček. Dále vrtačka obsahuje příklep a tlačnou pružinu v opěrce, která zajišťuje předepsaný přítlak. Měřitelnou veličinou je hloubka vrtu provedená 8 mm vrtákem do zdiva. Pomocí kalibračních vztahů určíme pevnost malty, eventuálně cihelného prvku. Kvůli fyzické náročnosti této metody vznikl nový typ elektrické vrtačky s označením PZZ 01. Zdrojem této vrtačky je AKU baterie, která usnadňuje používání v praxi. Stavitelný kroužek nástavce zajišťuje přednastavení stupně příslušného počtu otáček vrtáku, po jehož provedení se vrtačka automaticky vypne. U tohoto typu vrtačky byl změněn průměr vrtáku z 8 mm na 6 mm, což mělo za následek výrazné zlepšení metody z hlediska tloušťky spár.

Rozdíl mezi oběma vrtačkami je pouze v kalibračních vztazích. Zkušební místa u zdících malt volíme na tlačných prvcích z důvodu sevření spáry. Pokud je zkušební místo omítnuto, je nutné odstranit omítku v ploše minimálně 200 x 150 mm, tak že ložná spára představuje podélnou osu této plochy. Poté se ložná spára musí obnažit na do hloubky 20 mm za líc zdiva. V takto upravené spáře se provedou tři vrtý ve vzdálenostech 40 mm od sebe a alespoň 50 mm od kraje zdiva. Hloubka vrtů se změří hloubkoměrem a poté se pomocí kalibračních vztahů odečte pevnost malty. Za platné měření se považuje taková hloubka vrtu, která se neliší od průměrné hloubky ze tří vrtů

o více než 30%. Jestliže tomuto kritériu nevyhoví jeden z vrtů, vyloučí se z měření a provede se nový vrt. V případě, že nevyhoví dva ze tří vrtů, zkušební místo se neuvažuje. [14]

Povrch cihel na zkušebním místě se musí nejdříve očistit od omítky. Vrty se provedou ve vzdálenosti 30 mm od sebe a 40 mm od hrany cihly. Po dokončení vrtů na jednom zkušebním místě se změří hloubka a poté se pomocí kalibračních vztahů odečte pevnost cihel. Následující postupu je stejný jak u zkoušení zdicích malt. [14]

6.2.3. Odtrhové metody

Odtrhové zkoušky slouží ke stanovení přídržnosti povrchových vrstev (stěrky, omítky, nátěry) na nosném podkladu. Také tyto zkoušky můžeme použít ke zjištění tahové pevnosti povrchových nebo podpovrchových vrstev betonu. Na povrch zkoušeného prvku se nalepí, většinou epoxidovým lepidlem upravený terč o průměru 50 mm (obr. 22). Výška terče je obvykle 30 mm. Jádrovým vrtákem s vnitřním průměrem 50 mm se navrtá beton do požadované hloubky. Na naznačený vývrt se nalepí terč pro uchycení do trhacího přístroje a po zatvrdnutí lepidla se provede zkouška v osovému tahu. Výsledkem zkoušek je mimo uvedené přídržnosti obvykle zpracován i kalibrační vztah mezi tahovou silou a např. krychelnou pevností na svislé ose. [6]



Obrázek 22: Trhací stroj Coming OP 3 a kovové terče [30]

6.3. Destruktivní zkušební metody

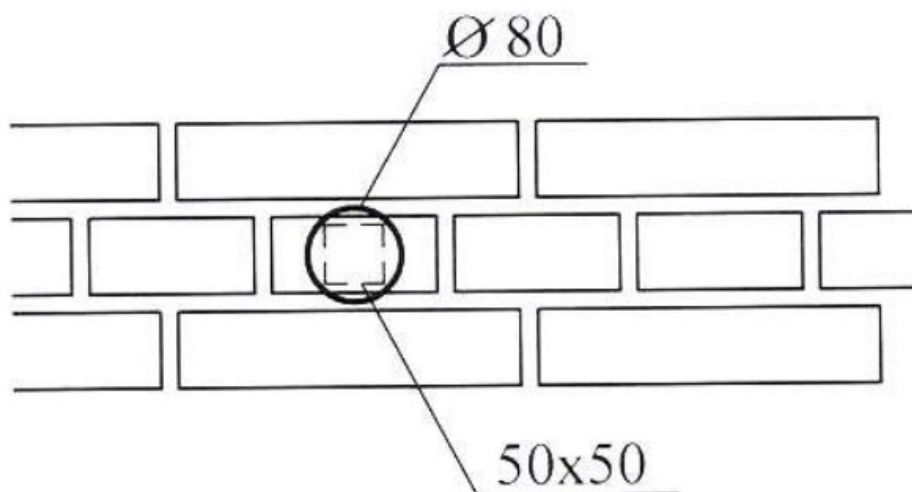
Pokud je třeba zpřesnit výsledky nedestruktivních či semidestruktivních zkušebních metod, je nutné využít zkušebních metod destruktivních. Výsledky těchto zkoušek nám nejlépe ukážou materiálové vlastnosti vzorků, jelikož díky nim můžeme poměrně přesně určit požadované fyzikální i mechanické charakteristiky. [2], [27]

S využitím destruktivních metod se můžeme setkat i v těch případech, kde je zapotřebí statistické vyhodnocení námi sledovaných vlastností. Mezi destruktivní zkoušky můžeme zahrnout zejména:

- jádrové vývrty;
- metodu použití plochých lisů.

6.3.1. Jádrové vývrty

Jádrové vývrty se odebírají z diagnostikované konstrukce ke stanovení vlastnosti staviva v době průzkumu. Vývrty se provádějí vrtačkou se speciálně upravenými dutými válci, opatřenými na spodní straně vrtáku tvrdokovovými popřípadě diamantovými břity. Vrtačka je umístěna v držáku, který umožňuje vrtat v různých směrech (svisle, vodorovně a také šikmo). Břity vrtáku jsou většinou ochlazovány vodou. Na betonové a zděné konstrukce se používají vrtáky o průměrech 25, 50, 100 a 150 mm, příp. mezilehlé průměry. Odběr vývrtů je znázorněný na (obr. 23). Podle účelu zkoušky se provede vrt do požadované hloubky, vrták se vyjme a jádrový vývrt se opatrně vylomí z vrtu. Vývrty o průměru 50, 75, 100 a 150 mm slouží převážně ke kontrole pevnosti staviva v tlaku. Jádrové vývrty se uříznou na požadovanou délku (50 x 50 x 290 mm). Ze vzorku o těchto rozměrech můžeme provést zkoušku pevnosti v tahu za ohybu, kde vzdálenost podpěr je 200 mm. Ze zlomeného vzorku lze opět vyřezat několik krychlí o délce hrany 50 mm a ověřit pevnost cihly v tlaku. [2], [27]



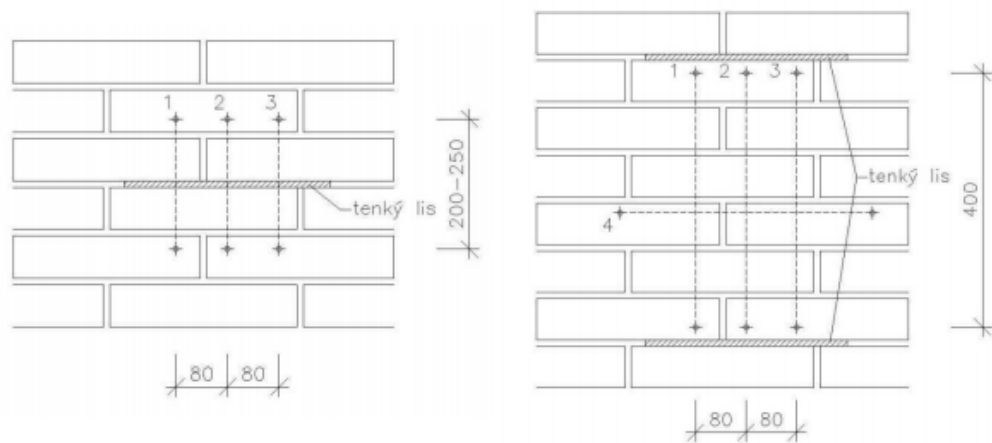
Obrázek 23: Schéma odběru jádrového vývrtu [26]

6.3.2. Metoda použití plochých lisů

Tato metoda byla vyvinuta k určení lokálních stavů napjatosti, tlakové pevnosti a deformačních charakteristik cihelného zdiva. Podle toho, které charakteristiky máme v plánu získat, volíme ze tří typů zkušebních postupů. [14]

Měření stavu napjatosti je založeno na dorovnání deformace, vzniklé rovinným řezem, kolmým k čelní ploše zdi. Ve zkušebním místě se zvolí vodorovná ložná spára a kolmo na ni se osadí tři základny pro sázecí deformetry ve vzdálenosti 200 mm od sebe (obr. 24). Provede se první čtení, základní. Malta ze sledované spáry se vyřeže, spára se vyčistí a provede se druhé čtení. Následně se do spáry vloží tenké ploché lisy. Do plochého lisu se začne vhánět pod tlakem hydraulický olej tak dlouho, dokud hodnoty nebudou stejné jako při prvním čtení. Tlaková síla lisu odpovídá původnímu napětí ve zdivu.

Modul přetvárnosti a posléze pevnost tlaku zdiva mezi plochými lisy se stanoví tak, že se do ložných spár nad sebou vloží dva tenké lisy (obr. 24). Z naměřených hodnot přetvoření ve třech svislých a jedné vodorovné základně se určí tento modul a pevnost zdiva. Zatěžovací zkouška se provádí do průměrných hodnot napětí v tlaku ve zdivu nebo do poloviny předpokládané pevnosti zkoušeného zdiva v tlaku. [2]



Obrázek 24: Umístění plochých lisů pro měření stavu napjatosti (obr. vlevo); Umístění plochých lisů pro určení modulu pružnosti (obr. vpravo) [2]

PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části této práce byly aplikovány získané znalosti na konkrétním historickém zděném objektu. Praktická část zahrnuje popis zámku Paskov a jeho stavebně technický průzkum. Na tomto zámku probíhá celková rekonstrukce. Díky tomu bylo možné odhalit skryté historické konstrukce, jako jsou např. klenby. Ověření dokumentace a dalších údajů ohledně zámku a vybraných charakteristik nalezneme ve stavebně-historickém průzkumu zámku Paskov.

7. Předběžný průzkum

7.1. Popis vybraného objektu - Zámek Paskov

Paskov se nachází na Moravě, v Ostravské pánvi, v části Podbeskydské pahorkatiny. Leží na obou březích říčky Olešné, severozápadně od Místku a jižně od Ostravy. Olešná teče podél náměstí středem obce a za ní se vlévá do Ostravice. Paskov leží v rovině, jen na západě se terén mírně svažuje. Po povýšení Paskova na městečko v roce 1538 se obec rozdělila na dvě části s vlastními purkmistry – ves Paskov (zvanou též Hůry) a městečko Paskov, které byly později spojeny. První doložené rozdělení na městečko a ves je z roku 1699. Paskovské panství od středověku zahrnovalo vsi Žabeň, Velkou a Malou Hrabovou, Starou Bělou, Krmelín, později také Oprechtice a Mitrovice (založil hrabě Mitrovský). Po zrušení patrimoniální správy roku 1848 patřil Paskov k okresnímu hejtmanství v Místku a okresnímu soudu v Moravské Ostravě. Od roku 1949 patří Paskov k okresu Frýdek – Místek. [1]

7.1.1. Historické souvislosti

Podle paskovské kroniky byl Paskov původně malou vesničkou s 18 dřevěnými domky na místě dnešního náměstí, a byl založen mezi lety 1230-36. Měl vzniknout jako slovanská vesnice ještě před německou kolonizací, na území, které Franko Hūkeswagen postoupil kolem roku 1230 Konrádovi z Plavče. První zmínka o Paskovu je prý již z roku 1237. Typologicky je Paskov řadovou vsí – jedná se o lesní lánovou ves se záhumenicovou plužinou, tedy typ kolonizační. Paskov byl patrně pojmenován podle lokátora Paška nebo podle založení na místě paseky. Paskov byl ve 13. století součástí biskupského zboží na

severovýchodní Moravě. Byl střediskem samostatného lenního statku, kolem něhož se soustředilo několik vsí. Prvním leníkem byl podle paskovské kroniky Petr, syn Heroldův již v roce 1270, písemně doložen je až v roce 1300 Jan Stange. Podle paskovské kroniky zde již tehdy existovala tvrz. Paskovské panství bylo v roce 1538 vyvázáno z lenního svazku biskupství a stalo se statkem alodním, který si Jan z Pernštejna nechal v roce 1539 zapsat do zemských desek. V řadu několika let se na Paskově vystřídalo mnoho majitelů. Roku 1624 se jim stal Václav Bruntálský z Vrbna a za této doby se předpokládá, že se tvrz přestavěla na zámek. V roce 1663 Paskov vyhořel. [1]

Zatím převážná většina autorů předpokládá, že zámek byl postaven po roce 1643. Podle F. Linharta i jiných autorů byl zámek na místě tvrze postaven ve 2. polovině 17. století, poté, co byla v roce 1643 tvrz vypálena Švédy. Vlastivědná literatura předpokládá, že zámek byl postaven, spolu s předzámčím s nárožními rotundami a průjezdovou věží a jinými stavbami, v letech 1640-46 za Václava z Vrbna na místě tvrze jako raně barokní budova s pozdě renesančními prvky. Stavba byla jednopatrová, na obdélném nároží prý stála vysoká zámecká věž, která byla odstraněna při opravách v 60. – 70. letech 19. století. Podle K. Havránka byla při stavbě zámku zřízená také kaple s oltářem. Kolem nově postaveného zámku byl vybudován zámecký park. Zámek nabyl čtyřkřídlé dispozice s pilířovými arkádami v nádvoří, z původní tvrze přetrvaly silné zdi a věžovitá stavba v severním křídle. V roce 1869 zámek vyhořel a při přestavbě byla zbořena věž v západním křídle hlavní budovy a původní boční vížky zámku a zámek dostal dnešní podobu s novoklasicistními fasádami, vstupním rizalitem a balkonem. Při přestavbě byly také odstraněny některé menší budovy u zámku a valbové střechy zámecké budovy byly změněny na mansardové. Při obnově byl zámek dotvořen vestavbou vstupní haly a schodiště s klenutými plackami, vstup byl zvýrazněn rizalitem s trojúhelným štítem a vázami, na bočních křídlech vznikly nepravé rizality. [9]

Roku 1913 nechal hrabě Stolberg ze zámecké budovy odstranit neúčelnou kuchyň a vybudoval novou samostatnou zděnou přízemní budovu poblíž zámku na západní straně, v níž byla vybudována vyhovující kuchyň s podzemním přístupem do zámku. [11]

V roce 1945 byl zámek zkonfiskován tehdejšími režimem a využíván jako nemocnice. O dva roky později byl stanovený program na potřebné úpravy zámeckého areálu. V roce 1951 byl zahájen v adaptovaném zámku provoz radioterapeutického ústavu, prvního na severní Moravě. [1]

7.1.2. Rozbor objektu

Urbanistická situace

Zámecký areál v Paskově se rozkládá v severní části obce na plošině nad říčkou Olešná. V severozápadní části parku leží čtyřkřídlá hlavní budova, dnes historické jádro zámku vzniklé ze starší tvrze. Na severní straně vymezuje areál směrem k náměstí podlouhlý vstupní objekt situovaný podél silnice. Na západní straně je severojižně umístěna západní budova. Z jihozápadní strany obklopuje vlastní zámeckou budovu rozsáhlý park. Celý komplex tvoří čtyřkřídlá hlavní budova na jihu s připojenou kaplí sv. Alžběty. [1]

Vstupní objekt

Vstupní budova je výrazně protáhlého půdorysu, na východní i západní straně ukončená okrouhlými nárožními věžemi. Budovu dělí na dvě nestejně dlouhé části průjezd, z něhož vystupuje třípatrová věž (obr. 25). Objekt je zastřešen sedlovou střechou mírného sklonu a nárožní věže jsou zakončeny nízkými kužely. Hlavní portál do průjezdu složený z pískovcových kvádrů, vrcholící rozvětveným frontonem, nese v kartuši znak Stollbergů. Budova má obvodové zdi ze smíšeného zdiva, s tenkými cihlovými korunami. [1]



Obrázek 25: Vstupní budova do areálu zámku s pískovcovým portálem

Hlavní budova

Hlavní patrová budova zámeckého areálu v Paskově je uzavřeným objektem ohraničující nově zastřešený obdélníkový dvůr. V průběhu doby se budova měnila do podoby čtyřkřídlého, nepravidelného útvaru, s protaženými nárožími. Zámek má v současnosti mansardovou střechu. Portál a západní štít kaple jsou vybudovány z godulského pískovce. Východní průčelí zámku (obr. 26) je opatřeno balkonem. Pilíře nesoucí terasu pokračují nad ní, jako opora pro zábradlí. Jsou také zpracovány ze zeleného kamene (godulského pískovce). Hlavní budovu tvoří kamenné obvodové zdi. Většina kleneb, které se dochovaly, se nacházejí v přízemní části hlavní budovy a jsou cihlové. Klenby v suterénu jsou cihlové s kamennými výběhy. Vstupní chodba v přízemí má vyzdobený strop štukovým zrcadlem z pozdního baroka. Patro je přístupné širokým dvouramenným schodištěm, s prostornými podestami, klenutými pruskými a českými klenbami. Schodišťová hala je završena nepravou neckovou klenbou. Prostory v patře sloužily jako nemocniční pokoje. Zajímavostí v místnosti 214 je honosně vyhlížející krb, vyrobený ze dvou druhů mramoru. Krovová konstrukce je pojena kolíkovanými spoji a sestavována podle tesařských značek. [1]



Obrázek 26: Východní průčelí zámku Paskov, jehož pilíře z godulského pískovce nesou terasu

7.1.3. Zjištěné vady při předběžném průzkumu

Při předběžné prohlídce zkoumaného zámku bylo vidět, že objekt chátrá a rekonstrukce byla nevyhnutelná. Tato rekonstrukce probíhá v celém areálu zámku Paskov. Průzkum hlavní budovy z exteriéru odhaluje degradaci fasády a kamenného soklu (obr. 27), především působením povětrnostních vlivů na konstrukci. Příčinou této degradace může být také přirozená vlhkost a vodorozpustné soli, které vnikají do kamenného soklu, zdiva a omítky. Kyselé deště, deposity z ovzduší a také biologičtí činitelé mohou mít za následek tuto degradaci.



Obrázek 27: Degradace fasády severního průčelí zámku Paskov

Dále bylo vidět zatékání pod střešní krytinu z důvodu chybějících střešních tašek, a také malá díra ve střešní krytině (obr. 28), okapové svody, které ve většině případů chybí nebo již neplní svou funkci. Na (obr. 28) můžeme opět vidět degradaci zděné zídky kolem kaple sv. Alžběty, která s největší pravděpodobností vznikla působením povětrnostních vlivů, vodorozpustných solí a především vlhkostí, která v zimních obdobích v dutinách pórů a trhlinách zamrzá, zvětšuje svůj objem až o 10 %, a tím omítka opadá a vznikají další trhlinky.



Obrázek 28: Zatékání pod střešní krytinu a degradace zídky kolem kaple sv. Alžběty

Prohlídka v interiéru ukazuje, že se objekt potýká s vysokým obsahem vlhkosti ve zdivu, čemuž napovídaly vlhkostní mapy a výskyt plísní na stěnách (obr. 29). Průzkum odhalil výskyt různých stavebních materiálů, např. kamene, vepřovic, cihel plných pálený a místy cihel děrovaných (obr. 30). Dále byla také zjištěná vada, která se nacházela v přízemní chodbě, a bylo vidět, že omítka praská, odpadá a tvoří se vlhkostní mapy vzniklé zatékáním vody do konstrukce. Tato vada mohla být způsobena porušením vnitřních instalací. Strop je tvořen ocelovými I profily, které jsou klenuté segmentovými klenbami (viz obr. 31). Zajímavostí v přízemí tohoto zámku je výskyt barytových omítek (3 cm), a to z toho důvodu, že tento zámek kdysi sloužil jako onkologické oddělení a nacházely se zde různé rentgenové přístroje a zařízení.



Obrázek 29: Výskyt plísní po stěnách v přízemí, konkrétně hlavní schodiště do 1. NP



Obrázek 30: Vnitřní zdivo s jednotlivými druhy stavebních materiálů (kámen, cihla plná, pálená, děrovaná cihla a vepřovice)



Obrázek 31: Vlhkostní mapy na stropě, který je tvořen segmentovou klenbou v přízemní chodbě

8. Podrobný průzkum

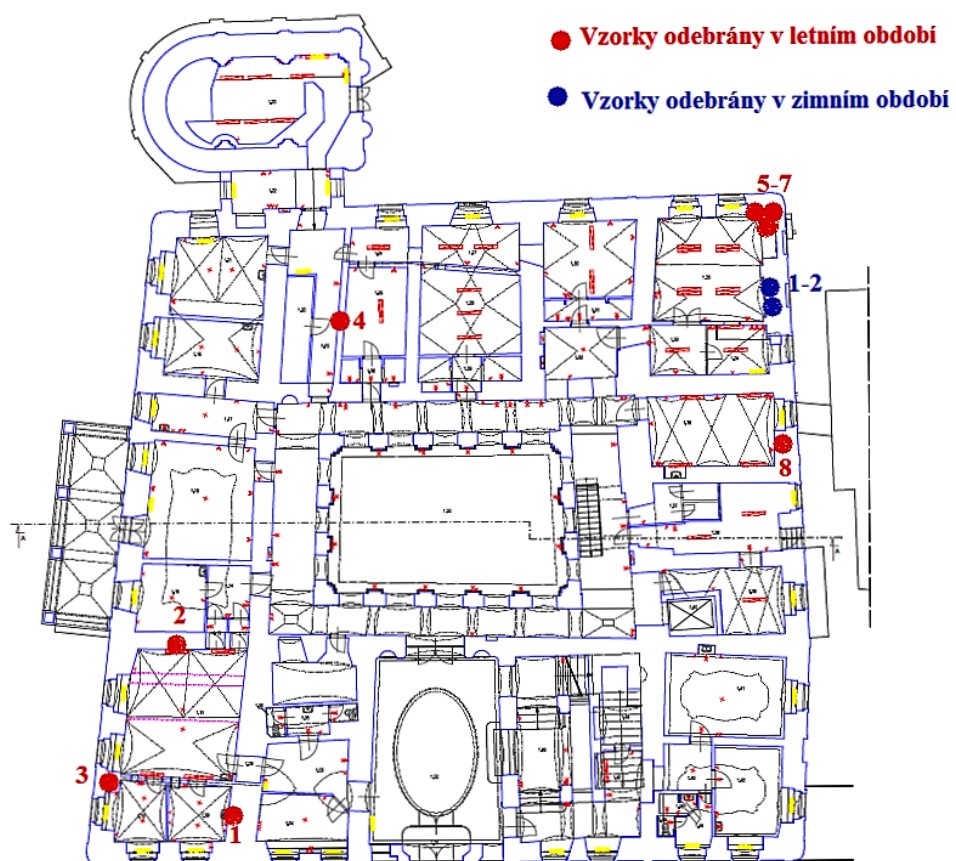
Při podrobném průzkumu byly odebrány vzorky jednotlivých stavebních materiálů, viz tabulka 2 a 3, které se liší časem odběru. U tabulky 3 lze vidět menší množství odebraných vzorků, a to z toho důvodu, že jednotlivé místnosti již byly zrekonstruovány a nebylo možné odebrat stejný počet vzorků ze stejných míst. Schéma odebraných jednotlivých vzorků nalezneme na obrázcích 32 a 33. Jednotlivé vzorky byly odebrány pro gravimetrické stanovení vlhkosti, tzn. z konstrukce přibližně 1 m nad zemí, byl odebrán vzorek, který se vložil do parotěsné fólie nebo parotěsné kovové nádoby, aby nedošlo ke změně vlhkosti zkoumaného vzorku při přepravě do laboratoře. Mezi odebranými vzorky byly i omítky a malty. Na vybraných vzorcích byly následně provedeny i analytické zkoušky.

Tab. 2: Vzorky odebrány v letním období (4. 8. 2015)

číslo vzorku	Název vzorku
1	cihla - přízemí
2	baryt. omítka (3cm)
3	baryt. omítka (3cm)
4	baryt. omítka (3cm)
5	cihla - přízemí
6	kámen - přízemí
7	malta - přízemí
8	omítka - přízemí
9	cihla - suterén

Tab. 3: Vzorky odebrány v zimním období (11. 3. 2016)

číslo vzorku	Název vzorku
1	cihla - přízemí
2	cihla - suterén 1
3	cihla - suterén 2
4	vepřovice - přízemí



Obrázek 32: Půdorys přízemí s vyznačenými místy odběru vzorků

i rozdílné teploty sušení, např. hmoty, které obsahují síran vápenatý (anhydrit) se mohou vysušovat pouze při teplotě $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, kdežto cementové materiály se mohou sušit při teplotě $105 - 110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po vysušení se vzorek opět zváží a získáme hodnotu m_s . Hmotnostní vlhkost následně vypočítáme ze vztahu (1) a zaokrouhlíme na 0,1 %. [31], [50]

$$w = \frac{m_v - m_s}{m_s} * 100 [\%] \quad (1)$$

kde:

m_v – hmotnost vzorku před vysušením [g];

m_s – hmotnost vzorku po vysušení [g];

w – hmotnostní vlhkost [%].

Výsledky gravimetrické (vážkové) metody

Výsledky mohou být ovlivněny např. velkou prodlevou mezi odběrem vzorku in-situ a laboratorním měřením. [31]

Tab. 4: Výsledky hmotnostní vlhkosti na odebraných vzorcích v letním období

Číslo vzorku	Název vzorku	Hmotnost nevysušeného vzorku - m_v [g]	Hmotnost vysušeného vzorku - m_s [g]	Hmotnostní vlhkost - w [%]
1	cihla - přízemí	269,8	269	0,30
2	baryt. omítka (3cm)	58,4	57,5	1,57
3	baryt. omítka (3cm)	29,4	29,2	0,68
4	baryt. omítka (3cm)	45,4	40,4	12,38
5	cihla- přízemí	78,1	77,8	0,39
6	kamenné ostění-příz.	110,6	110,1	0,45
7	malta-přízemí	138,9	136,4	1,83
8	omítka-přízemí	37,1	35	6,00
9	cihla - suterén	1323,4	1313,1	0,78

Tab. 5: Výsledky hmotnostní vlhkosti na odebraných vzorcích v zimním období

číslo vzorku	Název vzorku	Hmotnost nevysušeného vzorku - m_v [g]	Hmotnost vysušeného vzorku - m_s [g]	Hmotnostní vlhkost - w [%]
1	cihla - přízemí	135,6	134,5	0,82
2	cihla - suterén 1	81	75,4	7,43
3	cihla - suterén 2	155	138,4	11,99
4	vepřovice - přízemí	232	229,8	0,96

Tab. 6: Klasifikace vlhkosti zdiva [33]

Stupeň vlhkosti	Vlhkost zdiva w v % hmotnosti
Velmi nízká	$w < 3$
Nízká	$3 \leq w < 5$
Zvýšená	$5 \leq w < 7,5$
Vysoká	$7,5 \leq w \leq 10$
Velmi vysoká	$w > 10$

Z výše uvedených výsledků můžeme určit stupeň vlhkosti zdiva v letním a zimním období. Tučně vyznačené hodnoty v tabulkách charakterizují vzorky, které byly odebrány ze stejného místa v obou obdobích. Podle klasifikace vlhkosti zdiva určíme stupeň vlhkosti. Zdivo v přízemí, v obou obdobích, vykazuje stupeň vlhkosti velmi nízký, kdežto suterénní zdivo v letním období má vlhkost nízkou, ale v zimním období se tato vlhkost zvyšuje až na velmi vysoký stupeň vlhkosti. Vzorky 2 a 3 (zimní období) byly odebrány nad sebou, a to ve vzdálenosti cca 20 cm a 1 m nad zemí. Ostatní vzorky nelze porovnat, jelikož areál je v celkové rekonstrukci a potřebná místa k odběru vzorků již nebyla dostupná.

8.1.2. Zjišťování obsahu barytu v barytové omítce

Při předběžném průzkumu bylo zjištěno, že se v přízemí objektu nachází barytové omítky v tloušťce 3 cm. Tyto barytové omítky sloužily k zamezení průchodu gama záření z rentgenových přístrojů, jelikož v roce 1951 byl tento zámek využíván jako onkologické oddělení. Při podrobném průzkumu bylo odebráno několik vzorků této omítky, a to z toho

důvodu, že v rámci oprav je snaha o jejich zachování kvůli určité autenticitě. Naši snahou tak bylo zjistit, kolik barytu skutečně obsahují. V laboratoři se zjišťovalo pomocí spektrometru a termické analýzy obsahové zastoupení barytu. Použita byla také termická analýza. Při těchto analýzách bylo zjištěno velice malé zastoupení barytu v omítce. Z toho důvodu se provedla ještě úprava vzorku a to separace barytu od omítky pomocí kyseliny chlorovodíkové (HCl).

1. Termická analýza

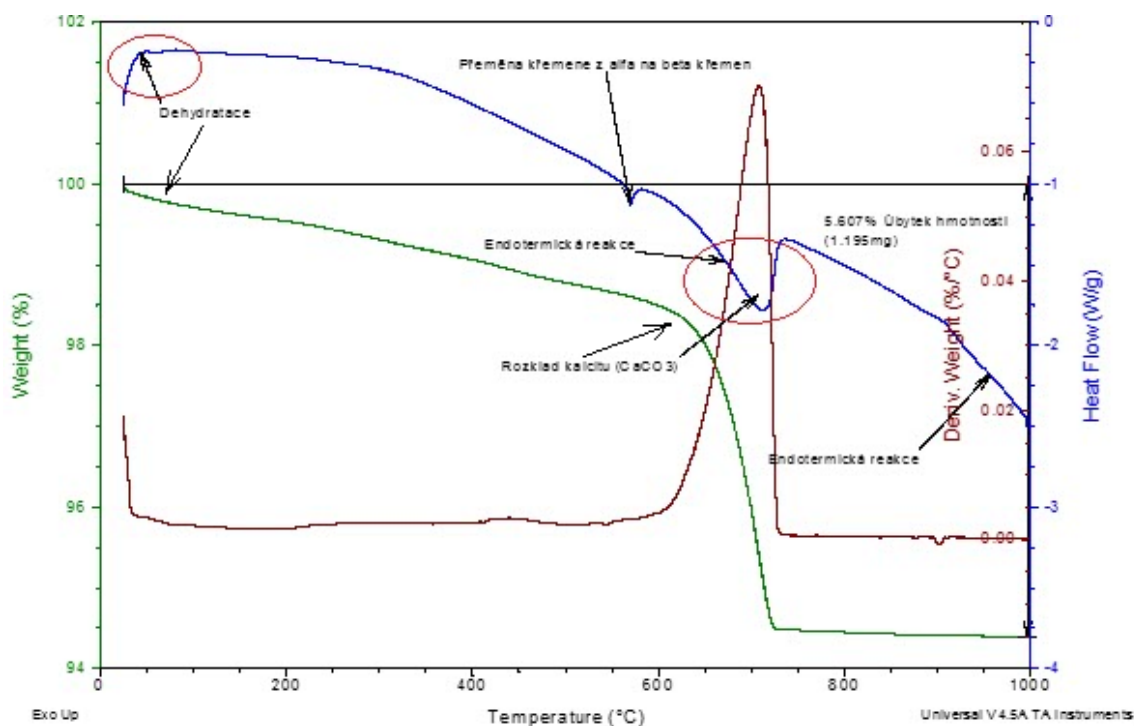
Termická analýza zahrnuje obecně experimentální metody, při nichž jsou analyzovány změny složení materiálu, případně vlastnosti zkoumané látky (nejčastěji v pevném skupenství, např. minerály, horniny apod.), při tepelném zatížení. V průběhu tepelného zatížení vzorku dochází k různým procesům, např. chemické reakce, rozkladu, dehydratace, fázové přeměně. Tyto změny mohou být doprovázeny změnou hmotnosti, objemu, uvolňováním nebo spotřebováním energie, změnou vodivosti atd. Podle vlastnosti, jejíž změna je sledována jako funkce teploty, se nazývá i příslušná analýza. Tepelné zatížení vzorku probíhá podle určitého programu a to může být dynamické (zahřívání nebo ochlazování) nebo statické (při konstantní teplotě v závislosti na čase).

V současné době existuje celá řada termoanalytických metod (tab. 7), mezi nejpoužívanější patří TG, DTA a DSC. [34]

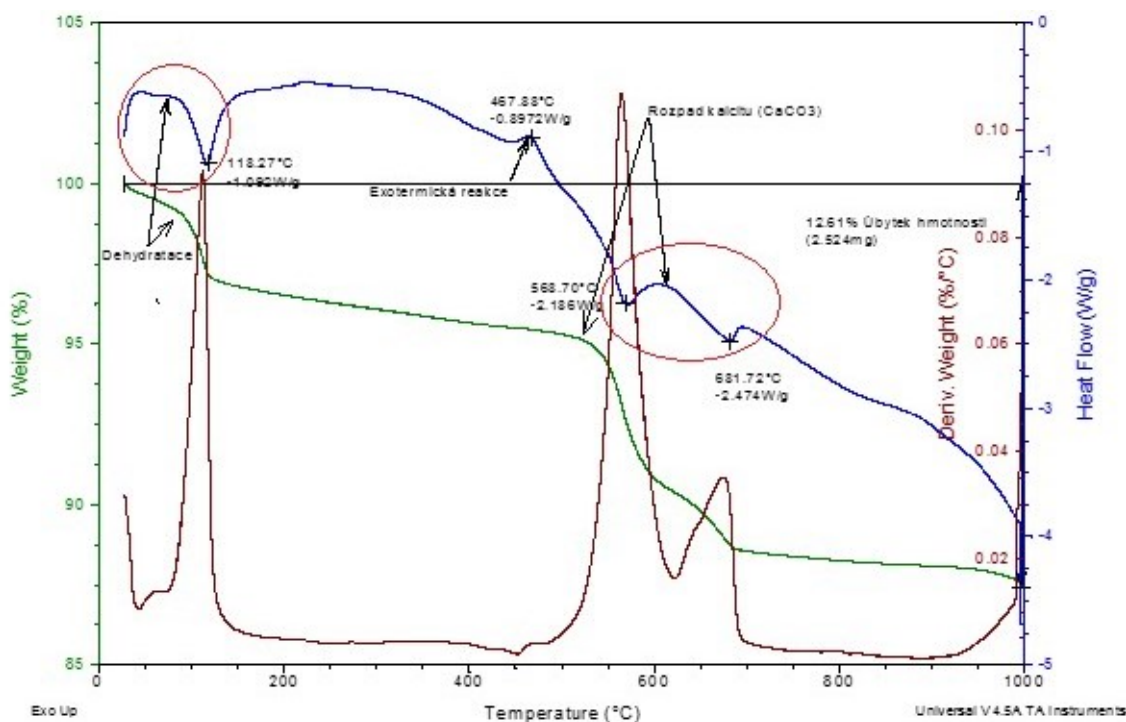
Tab. 7: Metody termické analýzy [7]

Metoda	Sledovaná vlastnost	Označení
Termogravimetrická analýza	hmotnost - měří se hmotnost vzorku v závislosti na teplotě	TG
Diferenční termická analýza	rozdíl teplot - měří se rozdíl teplot mezi vzorkem a standardem při ohřevu nebo při chlazení	DTA
Diferenční skenovací kalorimetrie	entalpie a tepelný tok - měří se tepelný tok dodávaný do referenční látky, tak aby teplotní rozdíl mezi vzorkem a standardem byl nulový	DSC
Termomechanická analýza	rozměr a mechanické vlastnosti - sleduje se deformace vzorku při zatížení v závislosti na teplotě	TMA
Termooptometrie	optické vlastnosti - měří se např. celkové světlo nebo světlo určité vlnové délky, luminiscence	TOA
Termoakustická analýza	akustické vlastnosti - sledují se charakteristiky zvukových vln po jejich průchodu vzorkem	-

Na naše vzorky byla použita termogravimetrická analýza (TG) a diferenční skenovací kalorimetrie (DSC). Pomocí těchto metod můžeme určit chování jednotlivých materiálů za určité teploty, úbytek hmotnosti dehydratací, exotermní a endotermní reakce, přeměnu křemene z alfa na beta křemen, tepelný rozpad kalcitu (CaCO_3) a jiných látek obsažených ve vzorku. V následujících grafech je porovnání chování referenčního vzorku, což je vzorek z archivu laboratoře (obr. 34) se zkoumaným vzorkem (obr. 35) odebrané barytové omítky.



Obrázek 34: Vyhodnocení referenčního vzorku s obsahem síranu barnatého (BaSO_4)



Obrázek 35: Vyhodnocení zkoumaného vzorku odebrané omítky

Zkoušený referenční vzorek s obsahem síranu barnatého (BaSO_4) byl zahříván teplotní rampou $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ v intervalu $25 - 1000\text{ }^\circ\text{C}$. Hmotnost navážky byla $21,32\text{ mg}$ a pecní atmosféra byla oxidační (vzduch). Zelená křivka sleduje celkový úbytek hmotnosti vzorku po zahřívání do $1000\text{ }^\circ\text{C}$, kdy tento úbytek byl kolem $5,607\%$ ($1,195\text{ mg}$). Ve většině případů je úbytek hmotnosti způsobený uvolněním vody volné ze vzorku. Tepelný tok při teplotě cca $50\text{ }^\circ\text{C}$ vyjadřuje dehydrataci vzorku, kdy dochází k uvolnění vody vázané. Malý endotermní pík (modrá křivka) cca při $570\text{ }^\circ\text{C}$ znázorňuje přeměnu křemene z alfa na beta křemen. Tepelný rozklad při teplotě nad $600\text{ }^\circ\text{C}$ vyjadřuje rozpad kalcitu (CaCO_3) nebo také jiné formy uhličitanu vápenatého, které mají také za následek úbytek hmotnosti vzorku.

Zkoumaný vzorek odebrané omítky byl zahříván stejnou teplotní rampou jako referenční vzorek. Hmotnost navážky byla 20 mg a pecní atmosféru tvořil také vzduch. Na křivce tepelného toku (modrá křivka) lze vidět jiné reakce než u referenčního vzorku. Při teplotě kolem $115\text{ }^\circ\text{C}$ je malý endotermní pík znázorňující úbytek hmotnosti, kde pravděpodobně došlo k uvolnění vody vázané. Přecházející k rozpadu kalcitu (CaCO_3) nebo jiné formy uhličitanu vápenatého při cca $570\text{ }^\circ\text{C}$, což způsobuje úbytek hmotnosti.

Poslední endotermický pík kolem 680 °C by měl být opět karbonát (např. dolomit, magnezit aj.) znázorňuje opět úbytek hmotnosti. Celkový úbytek hmotnosti zkoumaného vzorku je 12,61 % (2,524 mg).

Na obou vzorcích nemůžeme vidět rozklad síranu barnatého (BaSO_4), jelikož k jeho rozkladu dochází při větších teplotách kolem 1200 °C, ale můžeme vidět s rostoucí teplotou endotermickou reakci, která by eventuálně mohla naznačovat malé množství síranu barnatého (BaSO_4) ve vzorcích, ale vzhledem k rozsahu měření nemůžeme tuto dedukci prokázat. Naopak velké zastoupení kalcitu indikuje, že se jedná o vápennou nebo vápenocementovou maltu.

2. Termická analýza nerozpustného zbytku

Pro lepší detekci BaSO_4 se provedla termická analýza nerozpustného zbytku pomocí kyseliny chlorovodíkové. Vzorek barytové omítky se rozdrtil v třecí misce a poté přesíval přes síto o velikosti ok 0,125 mm. Zvážila se prázdná kádinka, do které se navážil vzorek rozdrčené omítky o hmotnosti 10 g. Do kádinky s omítkou se použilo přiměřené množství 10 % kyseliny chlorovodíkové (HCl). Tato kyselina se k omítkě přidávala postupně a hlavně opatrně, jelikož reakce kyseliny s omítkou se projevovala bouřlivým šuměním (reakce kyseliny s uhličitánem vápenatým). Při velkém množství kyseliny hrozilo přetečení roztoku. Po vymizení reakce (většinou do 2 hodin) se roztok umístil na vařič a zahříval se přibližně na teplotu 80°C po dobu 10 minut za stálého promíchávání (obr. 36).

Během dne se roztok 10 % kyseliny chlorovodíkové s omítkou několikrát promíchal. Roztok kyseliny chlorovodíkové s omítkou měl sytě oranžovou barvu. Následující dny, kdy reakce zcela zmizela, se roztok promýval destilovanou vodou až do té doby než se kyselina chlorovodíková úplně vymyla. Při vymývání kyseliny se postupovalo opatrně, a to z toho důvodu, aby nedošlo ke ztrátě lehkých komponentů, které rozdrčená omítka obsahovala. Jednotlivé slévání probíhalo cca po 1 - 2 hodinách, kdy se do roztoku přilila destilovaná voda, roztok se lehce promíchal a ulil z kádinky. Poté se muselo počkat, až se lehké komponenty omítky usadí a postup se opakoval, dokud roztok (voda) nebyl úplně průzračný. Na obrázcích 37 – 39 můžeme vidět postupnou změnu zabarvení roztoku při slévání destilovanou vodou.

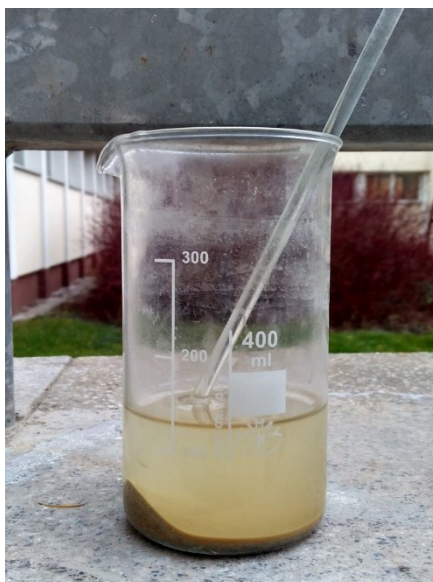
Kádinka s nerozpustnými zbytky se opět zvažila a vložila do sušárny. Po 24 hodinách se kádinka vyndala ze sušárny a na povrchu nerozpustných zbytků se vytvořila světle oranžová „slupka“. Tato slupka se z povrchu odebrala a provedla se opět termická analýza jak této slupky, tak i nerozpustných zbytků



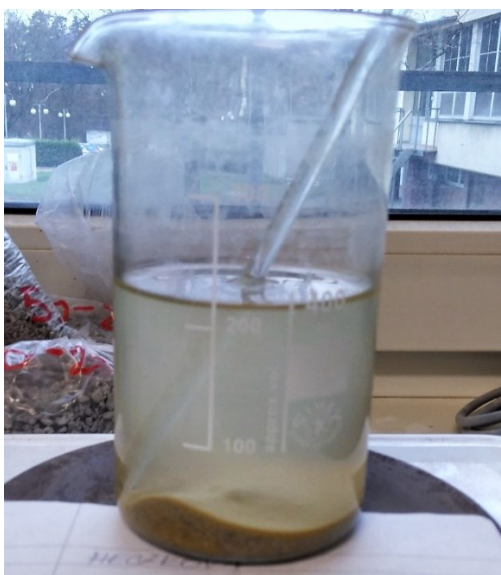
Obrázek 36: Zahřívání roztoku 10 % kyseliny chlorovodíkové na 80°C



Obrázek 37: Smíchání 10 % roztoku kyseliny chlorovodíkové s destilovanou vodou

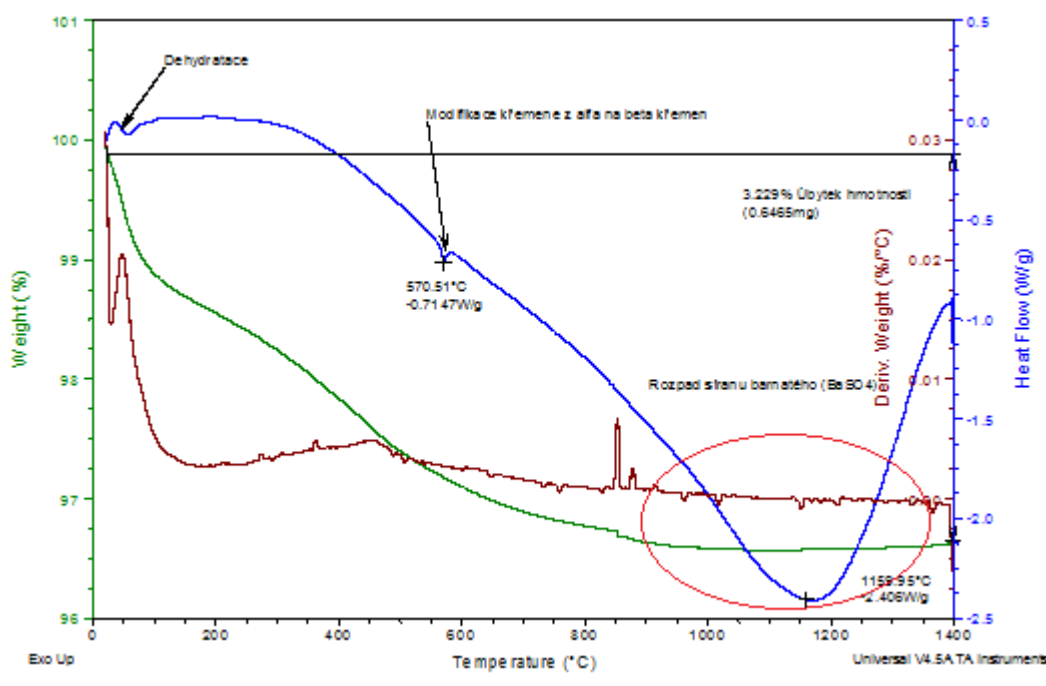


Obrázek 38: Slévání roztoku destilovanou vodou po několika hodinách



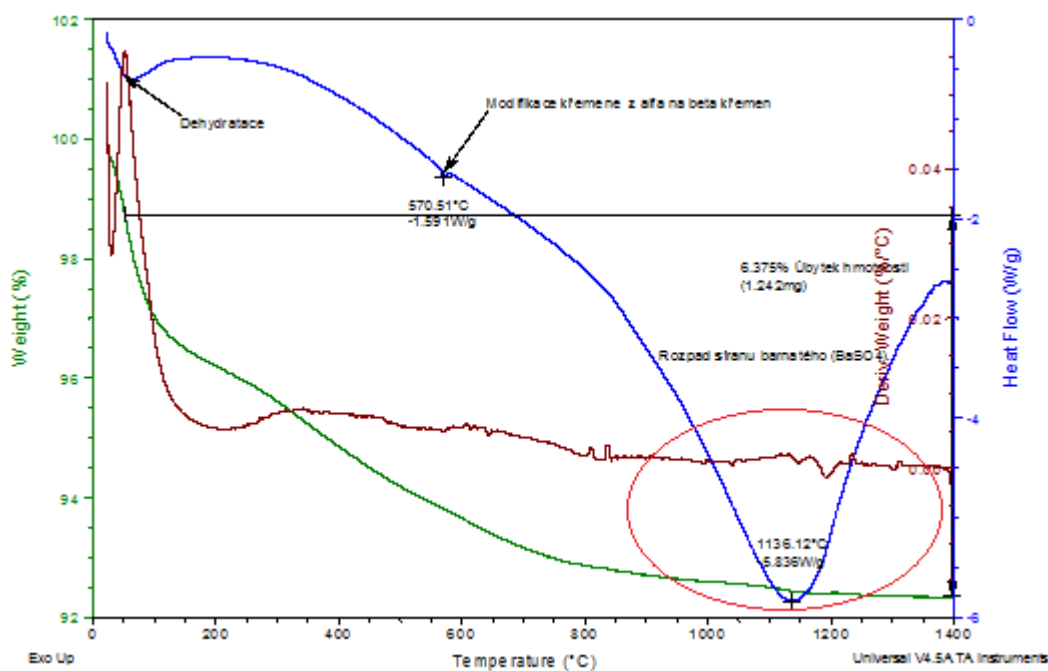
Obrázek 39: Konečné vymytí 10 % kyseliny chlorovodíkové destilovanou vodou

Vyhodnocení nerozpustného zbytku a „slupky“ pomocí termické analýzy



Obrázek 40: Vyhodnocení nerozpustného zbytku pomocí DSC – TGA

Pomocí termické analýzy se v tomto případě pravděpodobně povedlo odhalit síran barnatý (BaSO_4) v omítce, ovšem ve velmi malé míře (obr. 40). Program TA Instruments Universal Analysis 2000 byl v tomto případě nastaven do maximální teploty 1400 °C s teplotní rampou 10°C/min a atmosférou oxidační (vzduch). Navážka byla o hmotnosti 20 mg. Nerozpustné zbytky byly tvořeny frakcí 0,125 mm. Křivka sledující změnu hmotnosti (zelená) znázorňuje do cca 100 °C úbytek hmotnosti vzorku, kde tento hmotnostní rozdíl odpovídá množství uvolněné vody volné ze vzorku. Celkový úbytek hmotnosti vzorku činí 3,23 % (0,647 mg). Křivka tepelného toku (modrá) znázorňuje cca do 100°C endotermní pík, způsobený dehydratací. Malý pík kolem 570°C vyjadřuje modifikaci křemene z alfa na beta křemen. Tepelný tok nad 800 °C znázorňuje endotermickou reakci, a to pravděpodobně rozklad síranu barnatého (BaSO_4). Kolem 1400 °C lze vidět exotermickou reakci. Je nutné zdůraznit, že převážná většina vzorků není tvořena jen jedním minerálem, a tak může docházet k překrývání vlivů jednotlivých procesů. Takto může dojít k neúplné interpretaci výsledků.



Obrázek 41: Vyhodnocení „slupky“ pomocí DSC – TGA

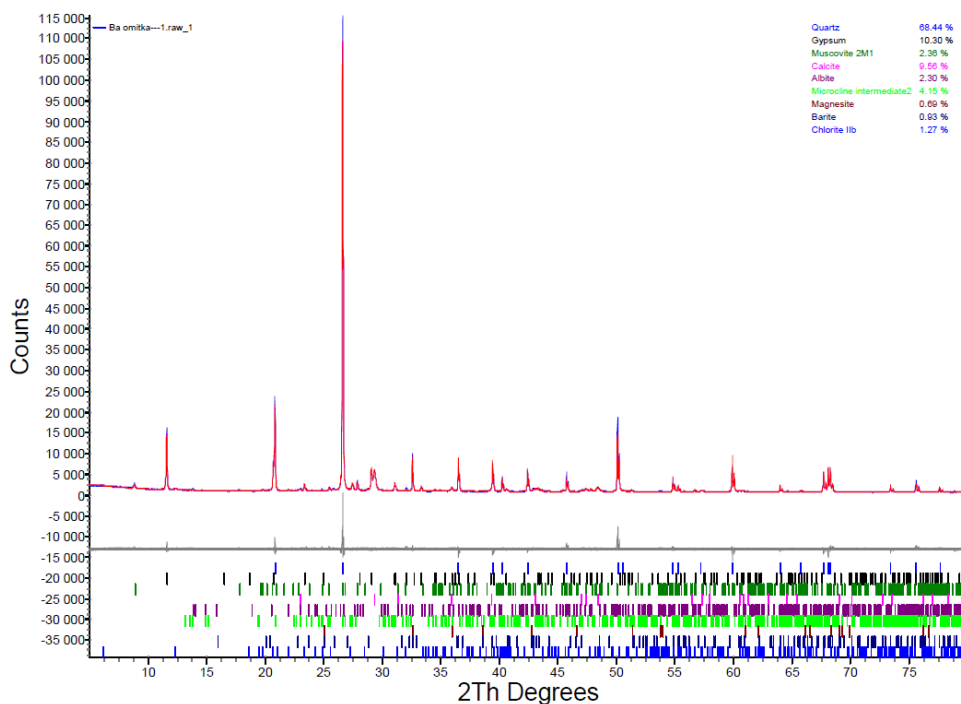
Stejně jak pro nerozpustný zbytek, byl pomocí termické analýzy zjištěn obsah síranu barnatého ve „slupce“ (obr. 41). Zkušební podmínky byly nastaveny stejně jako u předchozího vzorku, s rozdílnou hmotností navážky, a to 19,47 mg. Křivka sledující změnu hmotnosti (zelená) znázorňuje do cca 100 °C úbytek hmotnosti vzorku způsobený vlivem uvolnění volné vody ze vzorku. Celkový úbytek hmotnosti vzorku činí 6,37 % (1,242 mg). Křivka tepelného toku (modrá) znázorňuje pík cca do 100°C endotermickou reakci, která odpovídá dehydrataci vzorku. Při teplotě cca 570 °C se nachází malý endotermický pík, který znázorňuje modifikaci křemene z alfa na beta křemen. Tepelný tok nad 800 °C znázorňuje endotermickou reakci, a to rozklad síranu barnatého (BaSO_4). Kolem 1400 °C lze vidět opět exotermickou reakci.

Z vyhodnocení těchto dvou vzorků (nerozpustného zbytku a slupky) vyplývá, že v obou vzorcích se pravděpodobně nachází síran barnatý (BaSO_4), ale jen ve velmi malém množství. Dále můžeme pozorovat, díky úpravě, a to použitím 10 % kyseliny chlorovodíkové (HCl), že došlo k odstranění karbonátů ze vzorku.

3. Hmotnostní spektrometrie

Hmotnostní spektrometrie je analytická technologie, která zkoumá anorganické i organické látky. Využívá se při kvantitativní i kvalitativní analýze. Kvalitativní analýza organických a anorganických látek pomocí spektrometrie stanovuje molekulovou hmotnost jednotlivých složek nebo objasňuje jejich strukturu. Při kvantitativní analýze je spektrometrie využívána k detekci celé řady sloučenin.

Podstatou hmotnostní spektrometrie je určení hmotnosti atomů, molekul a molekulových fragmentů po jejich převedení na ionty. Pomocí hmotnostního spektrometru jsou všechny vzniklé ionty rozděleny podle podílu své hmotnosti a náboje (m/z) a následně detekovány v podobě hmotnostních spekter (viz obr. 42). Jednotlivé procentuální zastoupení prvků ve zkoumaném vzorku nalezneme v tabulce 8. [34]



Obrázek 42: Vyhodnocení hmotnostního spektra barytové omítky

Tab. 8: Vyhodnocení hmotnostní spektrometrie – zastoupení jednotlivých vzorků v barytové omítce

Název prvku	Procentuální zastoupení [%]
Křemen	68,44
Sádrovec	10,3
Muskovit	2,36
Kalcit	9,56
Albit	2,3
Mikroklín	4,15
Magnezit	0,69
Baryt	0,93
Chlority	1,27

Po vyhodnocení této zkoušky byl zjištěn velice nízký obsah barytu v omítce, a to jen 0,93 %. Toto množství se běžně vyskytuje v přírodě. Největší zastoupení v této omítce má křemen s 68,44 %. Vzhledem k velmi malému zastoupení barytu ve vzorcích, nelze stoprocentně prokázat, že se jedná o barytovou omítku.

8.1.3. Stanovení pevnosti zdících prvků a malty na stávající konstrukci

Ke zkoušení pevnosti zdících prvků a malty ve spárách se používá upravená ruční vrtačka, známá jako „Kučerova vrtačka“ (obr. 43). Metoda je založena na vzájemném vztahu mezi pevností zkoušeného materiálu a odporem tohoto materiálu proti vnikání vrtáku při příklepovém vrtání touto vrtačkou s danými parametry. Proti běžné ruční vrtačce se elektrická vrtačka liší tím, že má navíc příklep, počítadlo otáček a tlačnou pružinu v opěrce o předepsané tuhosti, díky níž je zajištěn předepsaný přítlak. [32]



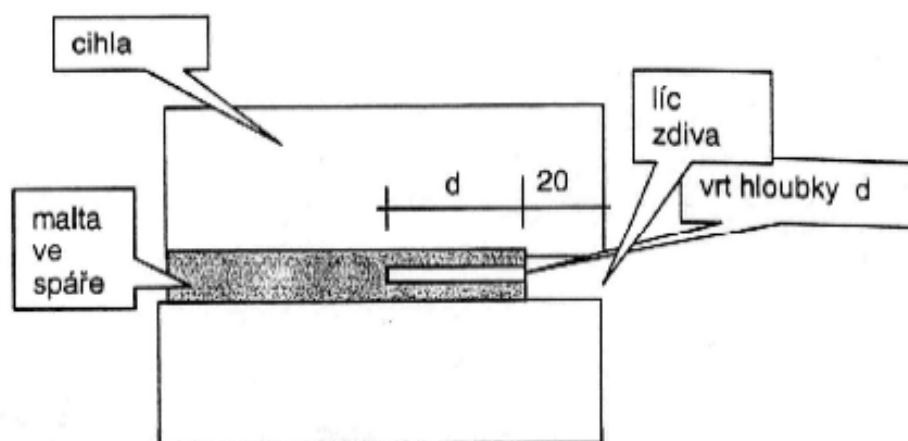
Obrázek 43: Vrtačky pro zkoušení pevnosti zdících prvků nebo malty – ruční a elektrická [32]

Zkušební postup

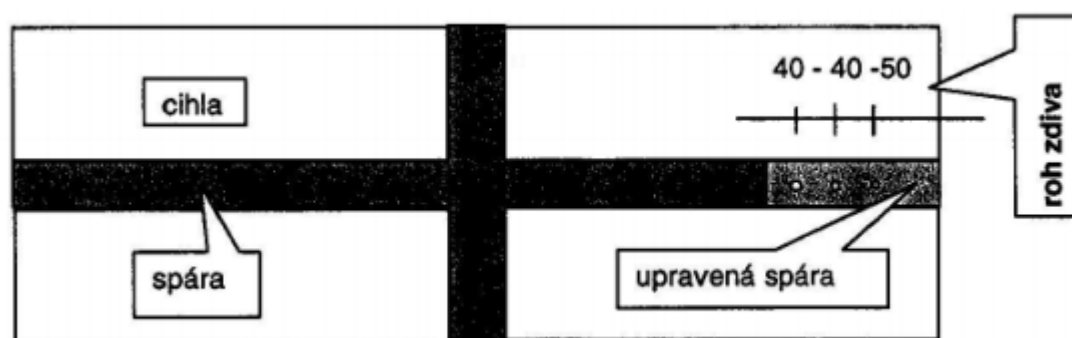
Zkušební místo se volí na tlačných prvcích a musí se upravit, a to pokud je zdivo omítnuto, odstraní se omítka na ploše cca 200 x 150 mm tak, že ložné spáry jsou přibližně v podélné ose upravené plochy. Na obrázku 46 jsou znázorněna místa při zkoušení pevnosti cihel a malty v tlaku. Při zkoušení malty se tato malta musí vysekat, resp. vyškrábat v jedné ložné spáře do hloubky cca 20 mm za líc zdiva (viz obr. 44). Při zkoušce cihel se povrch cihly očistí od omítky. Před začátkem zkoušení se vizuálně posoudí, zda není zdivo nadměrně vlhké, porušené trhlinami nebo jinak poškozené.

Zkoušení malty se provádí v upravené ložné spáře třemi vrty ve vzájemné vzdálenosti cca 40 mm a minimálně 50 mm od hrany zdiva (viz obr. 45). Při použití obecných kalibračních vztahů se vrty provedou při nastavení stupnice na stupeň 1. Zkoušení cihly nebo jiného zdícího materiálu se provede na očištěné ploše třemi vrty ve vzdálenosti cca 30 mm od sebe a 40 mm od hrany zdícího prvku. Při použití obecných kalibračních vztahů se vrty provedou při nastavení stupnice na stupeň 2.

Hloubka vrtu se změří hloubkoměrem. Jako platné měření se uvažuje hloubka vrtu „d“, která se nesmí lišit od průměrné hloubky „ d_m “ všech tří vrtů o více než 30 %. Pokud tomuto kritériu nevyhoví jeden vývrt, vyloučí se tento vývrt z měření a nahradí se novým, pokud nevyhoví dva vývrty, zkušební místo se neuvažuje. [12]



Obrázek 44: Řez zdivem – umístění vrtu ve spáře zdiva [32]



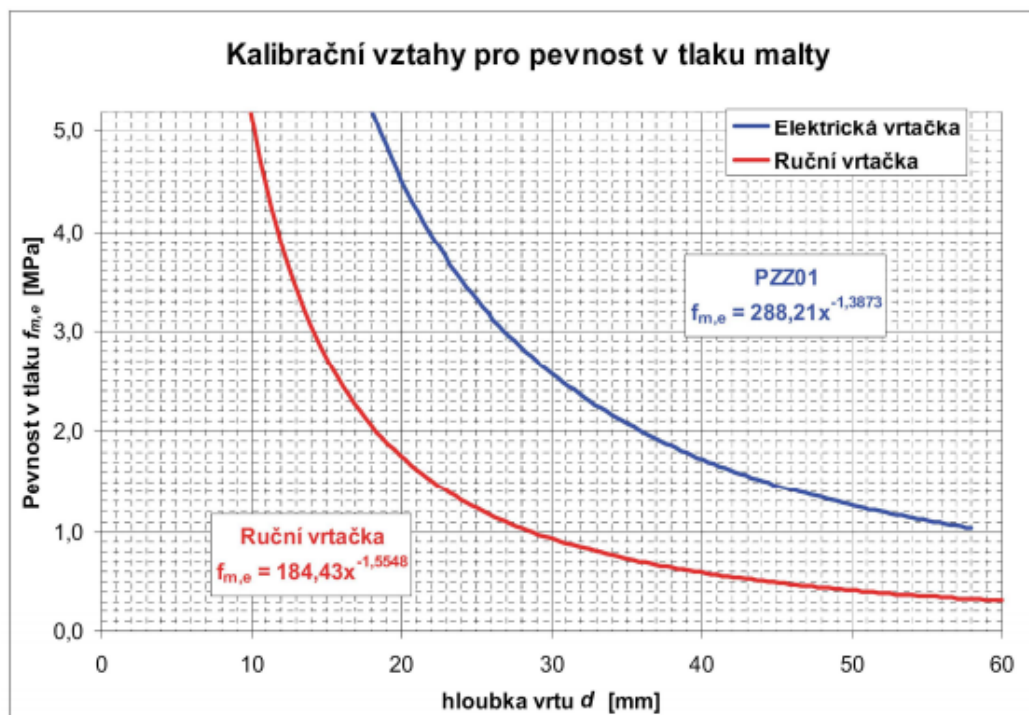
Obrázek 45: Pohled na zdivo – rozmístění vrtů ve spáře a vzdálenost vrtu od kraje [32]



Obrázek 46: Půdorys přízemí se zaznačenými zkušebními místy pro cihly a malty

Vyhodnocení zkoušky

Kalibrační vztahy jsou vytvořeny výrobcem obou typů vrtaček pro různé vstupní podmínky, mezi něž patří zejména jiný typ přitlaku, jiný průměr vrtáku a jiný způsob vyvození otáček. Jelikož se respektuje různost obou vrtaček, nemůžou se vzájemně porovnat (obr. 47).



Obrázek 47: Kalibrační vztahy pro pevnost v tlaku malty ve spáře zdiva z hloubky vrtu zjištěného ruční a elektrickou vrtačkou [32]

Ze tří platných měření na jednom zkušebním místě se vypočítá aritmetický průměr hloubky vrtů „ d_m “ a zaokrouhlí se na 1 mm. Informativní hodnota pevnosti zdících prvků nebo malty „ f_{me} “ se stanoví v závislosti na zjištěné průměrné hloubce vrtu „ d_m “ z obecného kalibračního vztahu pro daný typ přístroje, v našem případě se jedná o upravenou vrtačku typu PZZ 01. Pevnost získaná zkouškou jednoho zkušebního místa se považuje za rovnocennou hodnotě pevnosti zdícího prvku nebo malty získané zkoušením jedné krychle nebo zkoušce jednoho zdícího prvku. Z výsledků všech zkoušek na konstrukci se určí normalizovaná pevnost zdícího prvku nebo malty „ f_m “ (f_b). [32]

Charakteristická pevnost zdiva v tlaku

Charakteristická pevnost zdiva v tlaku f_k se podle ČSN ISO 13 822 určí z pevností zdících prvků a malty podle vztahu: [49]

$$f_k = K * f_b^\alpha * f_m^\beta \text{ [MPa]} \quad (2)$$

kde:

f_k – charakteristická pevnost zdiva v tlaku pro zdivo s vyplněnými ložnými spárami [MPa];

K – konstanta závislá na druhu zdiva a skupině zdících prvků; pro nejčastější uspořádání zdících prvků z plných cihel klasického formátu průměrné pevnosti a obyčejné malty, při střídání běhounů a vazáků ve vazbě zdiva se uvažuje konstanta $K = 0,55$;

f_b – normalizovaná pevnost v tlaku zdících prvků v tlaku [MPa];

f_m – normalizovaná pevnost malty v tlaku [MPa];

α – exponent závislý na tloušťce ložných spár a druhu malty, $\alpha = 0,7$ pro nevyztužené zdivo s obyčejnou nebo lehkou maltou;

β – exponent závislý na druhu malty, $\beta = 0,3$ pro obyčejnou maltu.

Návrhová pevnost zdiva v tlaku

Charakteristická pevnost zdiva byla vypočtena podle vlastností zdících prvků a vlastností použité malty. Při hodnocení zdiva je však zapotřebí zohlednit další vlastnosti související s únosností celé konstrukce. Mezi tyto vlastnosti patří:

- pravidelnost vazby zdiva;
- vyplnění spár maltou;
- zvýšená vlhkost zdiva;
- svislé a šikmé trhliny ve zdivu.

Návrhová pevnost zdiva v tlaku f_d se dle ČSN ISO 13822 vypočítá jako podíl charakteristické pevnosti v tlaku f_k a dílčího součinitele zdiva γ_m , který se určí podle vztahu: [46]

$$\gamma_m = \gamma_{m1} * \gamma_{m2} * \gamma_{m3} * \gamma_{m4} \quad [-] \quad (3)$$

kde:

γ_{m1} – základní hodnota dílčího součinitele spolehlivosti, která se pro zdivo z plných cihel uložených na obyčejnou maltu rovná 2,0;

γ_{m2} – součinitel vlivu pravidelnosti vazby a vyplnění spár maltou: $0,85 \leq \gamma_{m2} \leq 1,2$; dolní mez intervalu platí pro zcela dokonalou vazbu a bezvadné vyplnění spár;

γ_{m3} – součinitel vlivu zvýšené vlhkosti, pro vlhkost zdiva v intervalu od 4 % do 20 % se určí interpolací mezi hodnotami $1,0 \leq \gamma_{m3} \leq 1,25$;

γ_{m4} – součinitel zahrnující vliv svislých a šikmých trhlin ve zdivu v intervalu $1,0 \leq \gamma_{m4} \leq 1,4$, (dolní mez platí pro zdivo bez trhlin). [32]

Výsledky pevnosti zdících prvků a malty na stávající konstrukci

Zkouška byla prováděna elektrickou vrtačkou s označením PZZ 01. Před začátkem zkoušení bylo nutné očistit povrch cihel zkoušeného místa, a také upravit ložné spáry cca do hloubky 20 mm za líc zdiva. Zkušební místa byla vybrána na obvodových nosných stěnách a vnitřních nosných stěnách. Bylo vybráno celkem 6 zkušebních míst, jak pro cihly, tak pro malty a na každém byly realizovány tři vrty.

Stanovení pevnosti cihel

Jak už jsem výše zmiňovala, před zahájením zkoušení bylo nutné nejdříve očistit povrch cihel od omítky. Na vrtačce se nastavil stupeň 2 z důvodu použití obecného kalibračního vztahu. Vrty byly prováděny ve vzdálenosti 30 mm od sebe a 40 mm od hrany cihly. Po dokončení vrtů na jednom zkušebním místě se změřila hloubka a z těchto tří hodnot byla určena průměrná hloubka vrtu „ d_m “ s přesností na 1 mm. Z této hodnoty se podle kalibračního vztahu (Tab. 9) vypočítala pevnost cihly v tlaku. Ze všech 6 zkušebních míst byla určena průměrná pevnost cihly v tlaku. Na 5 zkušebních místech nebylo nutné vyloučit žádný vrt a nahradit ho novým (obr. 48), jelikož se žádný z vrtů nelišil od průměrné hloubky vrtu „ d_m “ v daném zkušebním místě o více než 30 %. Ovšem na jednom zkušebním místě nevyhovovaly hned dva vrty (obr. 49), z toho důvodu bylo nutné toto místo vyloučit z měření a provést vrty na jiné cihle.

Tab. 9: Obecný kalibrační vztah pro určení pevnosti v tlaku cihel [32]

Hloubka vrtu "d" [mm]	Pevnost v tlaku " f_b " [MPa]	Hloubka vrtu "d" [mm]	Pevnost v tlaku " f_b " [MPa]	Hloubka vrtu "d" [mm]	Pevnost v tlaku " f_b " [MPa]
2	23,8	12	9,7	22	7,2
3	19,5	13	9,3	23	7
4	16,9	14	9	24	6,9
5	15,1	15	8,7	25	6,7
6	13,8	16	8,4	26	6,6
7	12,7	17	8,2	27	6,5
8	11,9	18	7,9	28	6,4
9	11,2	19	7,7	29	6,3
10	10,7	20	7,5	30	6,2
11	10,2	21	7,4		



Obrázek 48: Zkoušení pevnosti cihel pomocí vrtačky PZZ 01



Obrázek 49: Na cihle vlevo nevyhověly dva vrty, proto bylo nutné toto zkušební místo vyloučit a nahradit jej novým měřením (cihla vpravo)

Tab. 10: Hodnoty pro zkoušení cihel získané pomocí vrtací metody

Zkušební místo	Hloubka vrtu "d" [mm]	Průměrná hloubka "d _m " [mm]	Pevnost v tlaku "f _{be} " [MPa]
1	9	11	10,2
	11		
	12		
2	8	7	12,7
	7		
	7		
3	6	6	13,8
	5		
	6		
4	12	14	9
	13		
	16		
5	5	6	13,8
	7		
	5		
6	6	6	13,8
	5		
	6		

Tab. 11: Vyhodnocení zkoušky pevnosti cihel v tlaku

Statické hodnocení zkoušky dle ČSN ISO 13822			
Statická veličina	Označení	Hodnota	Jednotka
Aritmetický průměr	m_x	12,2	MPa
Výběrová směrodatná odchylka	s_x	2,1	MPa
Počet platných vzorků	n	6	-
Variační součinitel	V_x	0,17	-
Součinitel odhadu konfidenčního intervalu	t_n	0,60	-
Součinitel odhadu 5 % kvantilu	k_n	1,77	-
Průměrná pevnost v tlaku kusového staviva	$f_{b,u}$	10,9	MPa
Pevnostní značka (dle ČSN EN 771-1)	P	10	MPa
Normalizovaná pevnost cihel v tlaku	f_b	8,2	MPa

Výsledkem vyhodnocení vrtací zkoušky je průměrná hodnota pevnosti, která se stanoví jako dolní hranice konfidenčního intervalu pro průměr. Pro přepočítání na normalizovanou pevnost v tlaku zděicích prvků byl použit součinitel tvaru $\delta = 0,75$. Tento součinitel vyjadřuje vliv rozměrů zkušebního prvku (viz Tab. 12). Pevnostní značky cihel byly stanoveny dle ČSN EN 772 – 1. V našem případě se jedná o zdivo třídy P 10. [47]

Tab. 12: Stanovení součinitele tvaru vyjadřující vliv rozměrů zděicího prvku δ

Výška zděicího prvku (mm)	Nejmenší vodorovný rozměr zděicího prvku (mm)				
	50	100	150	200	250 nebo větší
40	0,8	0,7	-	-	-
50	0,85	0,75	0,7	-	-
65	0,95	0,85	0,75	0,7	0,65
100	1,15	1	0,9	0,8	0,75
150	1,3	1,2	1,1	1	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,1
250 nebo větší	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15
Poznámka: Mezilehlé hodnoty se stanoví interpolací podle přímky.					

Stanovení pevnosti malty

Nejprve bylo zapotřebí upravit spáry v místech zkušebních vrtů. Na vrtačce se nastavil stupeň 1 z důvodu použití obecného kalibračního vztahu. Vrtý byly prováděny v ložných spárách (obr. 50) ve vzájemné vzdálenosti cca 40 mm od sebe a 50 mm od hrany zdiva. Po dokončení vrtů na jednom zkušebním místě se změřila hloubka a z těchto tří hodnot byla určena průměrná hloubka vrtu „ d_m “ s přesností na 1 mm. Z této hodnoty se podle kalibračního vztahu (Tab. 13) vypočítala pevnost malty v tlaku. Ze všech 6 zkušebních míst byla určena průměrná pevnost malty v tlaku. Vzhledem k tomu, že žádný z vrtů se nelišil od průměrné hloubky „ d_m “ na daném zkušebním místě o více než 30 %, nebylo nutné žádný vrt vyloučit a nahradit novým.

Tab. 13: Obecný kalibrační vztah pro určení pevnosti malty v tlaku [32]

Hloubka vrtu "d" [mm]	Pevnost v tlaku " f_m " [MPa]	Hloubka vrtu "d" [mm]	Pevnost v tlaku " f_m " [MPa]	Hloubka vrtu "d" [mm]	Pevnost v tlaku " f_m " [MPa]
18	5,2	32	2,3	46	1,4
19	4,9	33	2,3	47	1,4
20	4,5	34	2,2	48	1,3
21	4,2	35	2,1	49	1,3
22	4	36	2	50	1,3
23	3,7	37	1,9	51	1,2
24	3,5	38	1,8	52	1,2
25	3,3	39	1,8	53	1,2
26	3,1	40	1,7	54	1,1
27	3	41	1,7	55	1,1
28	2,8	42	1,6	56	1,1
29	2,7	43	1,6	57	1,1
30	2,6	44	1,5	58	1
31	2,5	45	1,5		



Obrázek 50: Zkoušení pevnosti malty v ložných spárách pomocí vrtačky PZZ 01

Tab. 14: Hodnoty pro zkoušení malty ve spárách získané vrtací metodou

Zkušební místo	Hloubka vrtu "d" [mm]	Průměrná hloubka "d _m " [mm]	Pevnost v tlaku "f _{m,e} " [MPa]
1	20	21	4,2
	24		
	20		
2	23	24	3,5
	22		
	26		
3	23	24	3,5
	24		
	25		
4	19	19	4,9
	21		
	18		
5	24	24	3,5
	25		
	22		
6	19	21	4,2
	21		
	22		

Tab. 15: Vyhodnocení pevnosti malty v tlaku

Statické hodnocení zkoušky dle ČSN ISO 13822			
Statická veličina	Označení	Hodnota	Jednotka
Aritmetický průměr	m_x	4	MPa
Výběrová směrodatná odchylka	s_x	0,57	MPa
Počet platných vzorků	n	6	-
Variační součinitel	V_x	0,14	-
Součinitel odhadu konfidenčního intervalu	t_n	0,60	-
Součinitel odhadu 5 % kvantilu	k_n	1,77	-
Pevnostní značka (dle ČSN EN 771-1)	M	2,5	MPa
Normalizovaná pevnost malty v tlaku	f_m	3,7	MPa

Z dosažených hodnot vyplývá, že se jedná dle ČSN EN 998 – 2 o maltu vápenocementovou nebo vápennou M 2,5. Normalizovanou pevnost malty v tlaku se vypočítala podle vztahu: [48]

$$f_m = m_x - t_n * s_x \text{ [MPa]} \quad (4)$$

kde:

m_x – výběrový průměr vyšetřované pevnosti z „n“ zkušebních míst;

s_x – výběrová směrodatná odchylka;

t_n – součinitel pro odhad dolní hranice konfidenčního intervalu průměru, stanovený s pravděpodobností $P = 0,9$. Hodnoty tohoto součinitele jsou uvedeny v tab. 16.

Tab. 16: Hodnoty součinitele t_n *)

Počet vzorků "n"	t_n	Počet vzorků "n"	t_n
5	0,68	15	0,35
6	0,6	20	0,3
7	0,54	25	0,26
8	0,5	30	0,24
9	0,47	40	0,21
10	0,44	50	0,18
12	0,39	100	0,13

*) Pro mezilehlé hodnoty se součinitel t_n stanoví lineární interpolací [31]

Výpočet charakteristické a návrhové pevnosti zdiva v tlaku

Pro výpočet pevnosti byly uvažovány hodnoty získané pomocí semidestruktivních zkoušek malty a cihel, jež jsou popsány v kapitole 9.2.5. Jako průměrná pevnost cihel v tlaku byla vypočítána $f_b = 8,2$ MPa. Výsledná pevnost malty v tlaku byla vypočítána $f_m = 3,7$ MPa. Po dosazení do rovnice (2) získáme charakteristickou pevnost zdiva v tlaku: [49]

$$f_k = K * f_b^\alpha * f_m^\beta \text{ [MPa]} \quad (2)$$

kde:

K – konstanta závislá na druhu zdiva a skupině zdících prvků; pro nejčastější uspořádání zdících prvků z plných cihel klasického formátu průměrné pevnosti a obyčejné malty, při střídání běhounů a vazáků ve vazbě zdiva se uvažuje konstanta $K = 0,55$ – toto je i případ objektu v Paskově;

f_b – normalizovaná pevnost zdících prvků v tlaku [MPa]; $f_b = 8,2$ MPa;

f_m – normalizovaná pevnost malty v tlaku [MPa] $f_m = 3,7$ MPa;

α – exponent závislý na tloušťce ložných spár a druhu malty, $\alpha = 0,7$ pro nevyztužené zdivo s obyčejnou nebo lehkou maltou – toto je i případ objektu v Paskově;

β – exponent závislý na druhu malty, $\beta = 0,3$ pro obyčejnou maltu – toto je i případ objektu v Paskově;

Dosažení zjištěných hodnot do vzorce:

$$f_k = 0,55 * 8,2^{0,7} * 3,7^{0,3}$$

$$f_k = 3,6 \text{ MPa}$$

Jednotliví součinitelé jsou podrobně rozepsáni v kapitole 9.2.4. Návrhová pevnost zdiva v tlaku se pak vypočítá podle vztahu:

$$f_d = \frac{f_k}{(\gamma_{m1} * \gamma_{m2} * \gamma_{m3} * \gamma_{m4})} \text{ [MPa]} \quad (5)$$

Tab. 17: Výsledky návrhové pevnosti zdiva v tlaku bez poškození trhlinami, vlhkost zdiva do 4 %

Charakteristická pevnost zdiva (dle ČSN EN 1996-1- 1)	Dílčí součinitel zdiva (dle ČSN ISO 13822)				Návrhová pevnost zdiva (dle ČSN ISO 13822)
	Součinitel spolehlivost i	Součinitel vazby zdiva	Součinitel vlhkosti zdiva	Součinitel poškození trhlinami	
f_k [MPa]	γ_{m1}	γ_{m2}	γ_{m3}	γ_{m4}	f_d [MPa]
3,6	2,0	1,0	1,0	1,0	1,8

Tab. 18: Výsledky návrhové pevnosti zdiva v tlaku bez poškození trhlinami, vlhkost zdiva 12 %

Charakteristická pevnost zdiva (dle ČSN EN 1996-1-1)	Dílčí součinitel zdiva (dle ČSN ISO 13822)				Návrhová pevnost zdiva (dle ČSN ISO 13822)
	Součinitel spolehlivosti	Součinitel vazby zdiva	Součinitel vlhkosti zdiva	Součinitel poškození trhlinami	
f_k [MPa]	γ_{m1}	γ_{m2}	γ_{m3}	γ_{m4}	f_d [MPa]
3,6	2,0	1,0	1,125	1,0	1,6

Charakteristická pevnost zdiva v tlaku je 3,6 MPa, pro náš případ je to zdivo s vyplněnými spárami. Hodnoty jednotlivých dílčích součinitelů jsem volila podle normy ČSN ISO 13822) a ČSN EN 1996-1-1 – Navrhování zděných konstrukcí. Návrhová pevnost zdiva v tlaku je ovlivňována trhlinami a vlhkostí, pohybuje se v intervalu 1,6 MPa až 1,8 MPa. Pevnost cihelného zdiva v tlaku se pohybuje od 4,0 do 35 MPa. V tomto případě pevnost zdiva v tlaku je malá. Uvedená zjištění musí být zohledněna i v případě probíhající rekonstrukce budovy.

8.1.4 Zhodnocení výsledků

Vyhodnocení gravimetrické zkoušky prokázalo vysoký obsah vlhkosti ve zdivu, zejména v zimních měsících. Ze zkoušky bylo zjištěno až 12 % hmotnostní vlhkosti, což je podle klasifikace velmi vysoký stupeň vlhkosti. Z toho vyplývá špatný stav hydroizolace objektu a nutné provedení sanačních opatření. Vzorek 4 (barytová omítka), který byl odebrán v letním období, vykazoval vlhkost 12,38 %, což je velice zvláštní, jelikož se nachází v přízemí hlavní budovy a ostatní vzorky odebrány z jiných místností, takto vysokou vlhkost neprokázaly. Pravděpodobně došlo ke špatnému zvážení vzorku před vložením do sušárny nebo k odlomení části omítky po vysušení.

Jako další zkouška se prováděla termální analýza barytové omítky, která se vyskytovala v přízemí zámku, jelikož v 2. polovině 20. století se zámek Paskov adaptoval na onkologické oddělení. Odebrané zkoumané vzorky se porovnávaly s referenčním vzorkem, který byl archivován v laboratoři. Jelikož tato analýza neprokázala větší zastoupení síranu barnatého (BaSO_4) v odebraných vzorcích, z důvodu nízkého teplotního rozsahu (0 -1000 °C), provedla se úprava vzorku tzv. stanovení nerozpustného zbytku a nová termická analýza s upravením maximální teploty zatěžování (0 – 1400 °C). Úprava teploty se provedla z toho důvodu, že rozklad síranu barnatého nastává při vyšší teplotě kolem 1200 °C. Výsledky této termické analýzy pravděpodobně prokázaly obsah síranu barnatého, ale opět ve velmi malé míře. Na závěr se provedla hmotnostní spektrometrie, která potvrdila malé množství BaSO_4 , přibližně 0,93 %. Toto množství se běžně vyskytuje v přírodě. Pro podrobnější ověření by bylo potřeba provést další analýzy, např. komplexometrickou titraci barya nebo pomocí uhličitanu sodnodraselného (směs Na_2CO_3 a K_2CO_3 v poměru 1:1). Z výsledků těchto zkoušek by se mohlo jednat o omítky vápenné nebo vápenocementové.

Poslední zkouškou byla semidestruktivní zkouška stanovení pevnosti malty a cihel v tlaku. Tato zkouška se prováděla pomocí speciálně upravené elektrické vrtačky s označením PZZ 01. Pevnost cihel a malty se prováděla na 6 zkušebních místech a na každém byly provedeny tři vrty. Vypočítaná normalizovaná pevnost cihel v tlaku je v tomto případě $f_b = 8,2$ MPa a podle ČSN EN 771-1 jde o pevnostní značku P 10. Normalizovaná pevnost malty v tlaku $f_m = 3,7$ MPa s pevnostní značkou M 2,5. Podle ČSN EN 1996-1-1 se vypočítala charakteristické pevnost $f_k = 3,6$ MPa a návrhová pevnost při 4% vlhkosti je $f_d = 1,8$ MPa a při 12 % vlhkosti je $f_d = 1,6$ MPa. Výsledná pevnost cihelného zdiva je poměrně malá.

9. Závěr

Cílem této práce bylo především seznámení se s nejčastějšími a nejrozšířenějšími zkušebními metodami používanými při diagnostice historických zděných konstrukcí a ukázka jejich praktického použití. Jelikož výstavba zděných konstrukcí je tradiční technologií, která se v průběhu staletí vyvíjela jak po technologické, tak po materiálové stránce, z toho důvodu je nutné při stavebně-technických či jiných průzkumech přistupovat k těmto objektům i jednotlivým konstrukcím specificky s ohledem na jejich historickou hodnotu. Proto by bylo vhodné, využívat ty diagnostické metody, které poskytují dostatečné množství informací, a to při minimálním destruktivním zásahu do zkoumané konstrukce.

Před zahájením provádění samotných zkoušek se provedl předběžný průzkum objektu. Při předběžném průzkumu byly zjištěny viditelné vady, které se na fasádě vyskytovaly nejčastěji, jako např. popraskaná omítka, zdivo obnažené až na cihly, výskyt plísní v oblasti okapových svodů, zatékání pod střešní krytinu, a také degradace kamenného soklu. Z největší pravděpodobností všechny tyto vady vznikly působením povětrnostních vlivů, ale i účinkem vodorozpuštěných solí, depositů z ovzduší a především vlhkostí. Výskyt vlhkostních map a plísní uvnitř objektu naznačoval, že se objekt potýká s vysokým obsahem vlhkosti ve zdivu. Jelikož je objekt v celkové rekonstrukci a probíhaly zde stavební práce, bylo zdivo v přízemí zbavené omítky do výšky cca 2 m a obnažené až na cihly. Tento stav vyhovoval při provádění podrobného průzkumu, protože nebylo třeba upravovat plochu potřebnou ke zkoušce stanovení pevnosti cihel a malty v tlaku a snadněji se odebíraly vzorky.

Z výsledků gravimetrické zkoušky vyplývá, že v zimních měsících se hlavní budova zámku Paskov potýká s velmi vysokým výskytem vlhkosti ve zdivu, především suterénní zdivo, a to až 12%. Podle mého názoru se tato vlhkost dostává do objektu převážně z okolní zeminy, jelikož vzorek odebraný ze suterénu cca 20 cm od země měl takto vysoké zastoupení vlhkosti. Tento fakt ukazuje na špatný stav hydroizolace, a proto by bylo vhodné v rámci rekonstrukce provést sanační opatření ve formě drenáže kolem celého objektu, a také provedení odsolení zdiva a použití vhodných omítek (sanační, vápenné nebo vápenocementové). Dále by bylo vhodné zamezit zatékání vody do objektu střešní krytinou. Z výsledků semidestruktivní zkoušky stanovení pevnosti cihel a malty v tlaku nemůžeme přesně určit tuto návrhovou pevnost, jelikož parametry nabývají nižších hodnot,

pravděpodobně z důvodu použití obecných kalibračních vztahů, ale problém může být i v povrchové degradaci vzorků nebo specifické technologii výstavby, než kdyby se odebraly jádrové vývrty a provedly se upřesněné zkoušky v laboratoři. Výsledky laboratorních zkoušek by přesněji stanovily zkoumané vlastnosti materiálu. A nakonec výsledky termické analýzy, hmotnostní spektrometrie a stanovení nerozpustného zbytku sice prokázaly, že se ve zkoumaném vzorku nachází síran barnatý (BaSO_4), ale ne v takové míře, které by odpovídalo barytovým omítkám. Jak už jsem několikrát zmínila, tato omítka plnila ochrannou funkci proti rentgenovému záření. Všechny indicie naznačují, že barytová omítka v tloušťce 3 cm musela být nevhodně připravena již při prvotním nanášení.

10. Citovaná literatura

- [1] AUGUSTÍNKOVÁ, L a ROŠOVÁ, R. *Zámek v Paskově. Stavebně historický průzkum*. Ostrava: Nepublikovaný materiál uložený na NPÚ, ú.o.p. Ostrava, 2003.
- [2] BROŽOVSKÝ, Jiří. *Nedestruktivní zkušební metody - nástroj pro hodnocení pevnosti stavebních materiálů a výrobků*. Brno: VUTIUM, 2005. 80-214-3056-7.
- [3] CZUMALO, Vladimír. *Péče o architektonické dědictví: sborník prací, 1. vydání*. Praha: Idea servis, 2008. 978-80-85970-62-3.
- [4] DRÁBEK, Pavel. *Zdění. 1. vydání*. Praha: Grada, 2000. 80-247-9038-6.
- [5] HEROUT, Jaroslav. *Slabikář návštěvníků památek*. Praha: Středisko památkové péče a ochrany přírody Středočeského kraje, 1978.
- [6] HOBST, L, a další. *Diagnostika stavebních konstrukcí: přednášky*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2005.
- [7] KLOUŽKOVÁ, A., ZEMENOVÁ, P., KLOUŽEK J. a PABST W. *Termická analýza: Zřízení laboratoře pro praktickou výuku termické analýzy se zaměřením na anorganické nekovové materiály*. Praha: VŠCHT Praha, 2012.
- [8] KOTLÍK, P. *Stavební materiály historických objektů 1. vyd.* Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 1999. ISBN 80-7080-347-9.
- [9] PLÁČEK, M. *Hrady a zámky, str. 272-273*.
- [10] SCHMID, Pavel a kolektiv. *Základy zkušebnictví*. Brno: Akademické nakladatelství cerm, s.r.o. Brno, 2004. 80-214-2584-9.
- [11] *SOkA Frýdek - Místek, AM Paskov, inv 145, kart. 8. 33,*
- [12] *Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.: Návod k používání přístroje pro zjišťování pevnosti zdicích prvků a malty typ PZZ 01*. Praha, 2004.
- [13] VLČEK, M, a další. *Poruchy a rekonstrukce staveb*. Brno: Era, 2001. 80-86517-10-1.

[14] VRTAL, Roman. *Metody používané při diagnostice zděných konstrukcí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012.

[15] WITZANY, Jiří, a další. *PDR - Poruchy, degradace a rekonstrukce*. Praha: nakladatelství ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9.

[16] ŽÍDEK, L, MEC, P a BUJDOŠ, D. *Diagnostika staveb*. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, 1997.

[17] MAJSTRÍKOVÁ, Tereza. *Historické stavební materiály: Degradace kamene*. Ostrava, 2015.

Internetové zdroje

[18] *readgur.com: Rekonstrukce a ochrana památek ze dne 10. 3. 2016* [online]. readgur.com, [10. 3. 2016]. Dostupné [www: http://readgur.com/doc/154453/1hk_historicke-zdivo.pdf-397kb-sep-25-2013-09-58-54-pm](http://readgur.com/doc/154453/1hk_historicke-zdivo.pdf-397kb-sep-25-2013-09-58-54-pm)

[19] *Obnova.sk: Pamiatky, remeslá a zbierky ze dne 10. 3. 2016* [online]. obnova.sk, [10. 3. 2016]. Dostupné [www: http://www.obnova.sk/clanok/zdivo-v-romanskem-gotickem-obdobi](http://www.obnova.sk/clanok/zdivo-v-romanskem-gotickem-obdobi).

[20] *gjb-spgs.cz: Gymnázium Jana Blahoslava a Střední pedagogická škola ze dne 10. 3. 2016* [online]. gjb-spgs.cz [10. 3. 2016]. Dostupné [www: http://www.gjb-spgs.cz/stranky/projekt_architektura/gotika.htm](http://www.gjb-spgs.cz/stranky/projekt_architektura/gotika.htm).

[21] *architektura.klenot.cz: Vývoj konstrukcí od pravěku do dnešní doby ze dne 10. 3. 2016* [online]. architektura.klenot.cz [10. 3. 2016]. Dostupné [www: http://architektura.klenot.cz/dejiny-architektury?start=15](http://architektura.klenot.cz/dejiny-architektury?start=15).

[22] *davar.cz: Badatelna - Výprava do historie ze dne 11. 3. 2016* [online]. davar.cz [11. 3. 2016]. Dostupné [www: http://davar.cz/badatelna/xref/cih_historie.htm](http://davar.cz/badatelna/xref/cih_historie.htm).

[23] *domika.cz: Vady staveb - Praskliny zděných konstrukcí ze dne 15. 4. 2016*. [online]. domika.cz [15. 4. 2016]. Dostupné [www: http://www.domika.cz/builder/vady%20staveb/Prask%3%A1n%C3%AD%20zd%C4%9Bn%C3%BDch%20konstruk%C3%AD.pdf](http://www.domika.cz/builder/vady%20staveb/Prask%3%A1n%C3%AD%20zd%C4%9Bn%C3%BDch%20konstruk%C3%AD.pdf).

- [24] *geotech.fce.vutbr.cz: Horniny metamorfované ze dne 11. 3. 2016*. [online]. geotech.fce.vutbr.cz [11. 3. 2016]. Dostupné [www: http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/geologie/skripta/PREMENEN.htm](http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/geologie/skripta/PREMENEN.htm).
- [25] MIKOLAS, D., *davidmikolas.cz: Web pro podporu výuky a poskytování informací ze dne 5. 4. 2016* [online]. davidmikolas.cz [5. 4. 2016]. Dostupné [www: http://www.davidmikolas.cz/dejepis/texty/osmicka/novorenesance.pdf](http://www.davidmikolas.cz/dejepis/texty/osmicka/novorenesance.pdf).
- [26] ŽÍDEK, L., HURTA, J., *fast.vsb.cz: Diagnostika zděných konstrukcí ze dne 8. 4. 2016* [online]. fast.vsb.cz [8. 4. 2016]. Dostupné [www: https://www.fast.vsb.cz/export/sites/fast/206/cs/reseneprojekty/frvs20092529/7_diagnostika_zdenych_konstrukci.pdf](https://www.fast.vsb.cz/export/sites/fast/206/cs/reseneprojekty/frvs20092529/7_diagnostika_zdenych_konstrukci.pdf).
- [27] ŠTRBA, V., *statik-znalec.cz: Statika staveb, statické posudky ze dne 12. 4. 2016* [online]. statik-znalec.cz [12. 4. 2016]. Dostupné [www: http://www.statik-znalec.cz/news/sadrove-terce/](http://www.statik-znalec.cz/news/sadrove-terce/).
- [28] *asb-portal.cz: Odborný stavební portál ze dne 12. 4. 2016* [online]. asb-portal.cz [12. 4. 2016]. Dostupné [www: http://www.asb-portal.cz/inzenyrske-stavby/doprava/diagnostika-a-monitorovani-mostnich-konstrukci](http://www.asb-portal.cz/inzenyrske-stavby/doprava/diagnostika-a-monitorovani-mostnich-konstrukci)
- [29] *stavebnikomunita.cz: Stavební komunita ze dne 8. 4. 2016* [online]. stavebnikomunita.cz [8. 4. 2016]. Dostupné [www: http://stavebnikomunita.cz/profiles/blogs/kammenne-zdivo](http://stavebnikomunita.cz/profiles/blogs/kammenne-zdivo).
- [30] *hmotydvě.sweb.cz: Přídržnost povrchových vrstev ze dne 12. 4. 2016* [online]. hmotydvě.sweb.cz [12. 4. 2016]. Dostupné [www: http://hmotydvě.sweb.cz/prezentace/pridrznost_povrchovych_vrstev.pdf](http://hmotydvě.sweb.cz/prezentace/pridrznost_povrchovych_vrstev.pdf).
- [31] *Stavba.tzb-info.cz: Kontrolní metody pro stanovení vlhkosti podkladních vrstev ze dne 12. 4. 2016* [online]. Stavba.tzb-info.cz [12. 4. 2016]. Dostupné [www: http://stavba.tzb-info.cz/podlahy/8050-kontrolni-metody-pro-stanoveni-vlhkosti-podkladnich-vrstev-podlah](http://stavba.tzb-info.cz/podlahy/8050-kontrolni-metody-pro-stanoveni-vlhkosti-podkladnich-vrstev-podlah)
- [32] *szk.fce.vutbr.cz: Zkoušení cihelného zdiva v konstrukci ze dne 12. 4. 2016* [online]. szk.fce.vutbr.cz [12. 4. 2016]. Dostupné [www: http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/ESF_C4_N%C2%A0vod.pdf](http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/ESF_C4_N%C2%A0vod.pdf)

[33] *Weber-terranova.cz: Klasifikace vlhkosti zdiva ze dne 12. 4. 2016* [online]. Weber-terranova.cz [12. 4. 2016]. Dostupné www: <http://www.weber-terranova.cz/sanace-a-hydroizolace/reseni/vyberte-si-idealni-reseni/klasifikace-vlhkosti-zdiva.html>

[34] *Old.vscht.cz: Centrální laboratoře ze dne 12. 4. 2016* [online]. Old.vscht.cz [12. 4. 2016]. Dostupné www: <http://old.vscht.cz/clab/ms/interpretace.htm>

[35] *Google.com: Smíšené zdivo z kamene a cihel ze dne 8. 4. 2016* [online]. Google.com [8. 4. 2016]. Dostupné www: https://www.google.cz/search?q=sm%C3%AD%C5%A1en%C3%A9+zdivo+%C5%99et%C4%9Bzy&espv=2&biw=1920&bih=979&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjxyNkvZbMAhUrb5oKHfomBewQ_AUIBigB#imgrc=CYkTj4UPdzjpMM%3A

[36] *homel.vsb.cz: Zkoušení stavebních hmot a výrobků ze dne 17. 4. 2016* [online]. homel.vsb.cz [17. 4. 2016]. Dostupné www: <http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=malty>

[37] *stavarina.cz: Poruchy zděných konstrukcí způsobené vzlinání vlhkosti ze dne 17. 4. 2016* [online]. stavarina.cz [17. 4. 2016]. Dostupné www: <http://www.stavarina.cz/poruchy/vzlinani-vlhkosti.htm>

[38] *nazeleno.cz: Příčiny a řešení vlhkosti v domě ze dne 17. 4. 2016* [online]. nazeleno.cz [17. 4. 2016]. Dostupné www: <http://www.nazeleno.cz/stavba/izolace/jak-na-vlhke-zdivo-priciny-a-reseni-vlhkosti-v-dome.aspx>

[39] *google.cz: Praskliny ze dne 17. 4. 2016* [online]. google.cz [17. 4. 2016]. Dostupné www: https://www.google.cz/search?q=smr%C5%A1%C5%A5ov%C3%A1n%C3%AD+om%C3%ADtky+a+vznik+trhlin&espv=2&biw=1366&bih=653&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiKra-Z_6TMAhVISRoKHZpsB7sQ_AUIBigB&dpr=1#imgrc=QJENywzQceAxaM%3A

[40] *hlubocky.eu: Kolkované cihly ze dne 17. 4. 2016* [online]. hlubocky.eu [17. 4. 2016]. Dostupné www: <http://www.hlubocky.eu/kolkovane-cihly/>

[41] *staracihla.wordpress.com: Stará cihla ze dne 17. 4. 2016* [online]. staracihla.wordpress.com [17. 4. 2016]. Dostupné [www: https://staracihla.wordpress.com/](https://staracihla.wordpress.com/)

[42] *prostor-ad.cz: Románský sloup a pilíř ze dne 17. 4. 2016* [online]. prostor-ad.cz [17. 4. 2016]. Dostupné [www: http://www.prostor-ad.cz/dejiny/roman/uvod/sloup.htm](http://www.prostor-ad.cz/dejiny/roman/uvod/sloup.htm)

[43] *dumy.oasoslouny.cz: Trhlíny ze dne 17. 4. 2016* [online]. dumy.oasoslouny.cz [17. 4. 2016]. Dostupné [www: http://dumy.oasoslouny.cz/wp-content/uploads/2013/06/3.2_11_05-Trhlíny-rozd%C4%9Blen%C3%AD-sledov%C3%A1n%C3%AD-a-m%C4%9B%C5%99en%C3%AD.ppt](http://dumy.oasoslouny.cz/wp-content/uploads/2013/06/3.2_11_05-Trhlíny-rozd%C4%9Blen%C3%AD-sledov%C3%A1n%C3%AD-a-m%C4%9B%C5%99en%C3%AD.ppt)

[44] *google.cz: Problémy s použitím zdiva z nepálených cihel ze dne 17. 4. 2016* [online]. google.cz [17. 4. 2016]. Dostupné [www: https://www.google.cz/search?q=degradace+p%C5%99%C3%AD%C4%8Dky+z+vep%C5%99ovic&espv=2&biw=1920&bih=935&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiH5YLV96fMAhUECywKHZ3xBvQQ_AUIBigB#imgsrc=WQqicL8EVTAAQTM%3A](https://www.google.cz/search?q=degradace+p%C5%99%C3%AD%C4%8Dky+z+vep%C5%99ovic&espv=2&biw=1920&bih=935&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiH5YLV96fMAhUECywKHZ3xBvQQ_AUIBigB#imgsrc=WQqicL8EVTAAQTM%3A)

[45] *google.cz: Větrná abraze ze dne 17. 4. 2016* [online]. google.cz [17. 4. 2016]. Dostupné [www: https://www.google.cz/search?q=v%C4%9Btrn%C3%A1+abraze&espv=2&biw=1920&bih=935&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiNjqTt96fMAhVLLiWKHU8BAmUQ_AUIBigB#tbm=isch&q=soln%C3%A1+pl%C3%A1n+salar+de+uyuni+bolivie+](https://www.google.cz/search?q=v%C4%9Btrn%C3%A1+abraze&espv=2&biw=1920&bih=935&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiNjqTt96fMAhVLLiWKHU8BAmUQ_AUIBigB#tbm=isch&q=soln%C3%A1+pl%C3%A1n+salar+de+uyuni+bolivie+)

Normy

[46] *ČSN ISO 13822: Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí*. Druhé vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.

[47] *ČSN EN 772-1: Specifikace zdicích prvků - Část 1: Pálené zdicí prvky*. Praha: ČVUT Praha, 2003 (neplatná).

- [48] ČSN EN 998 – 2: *Specifikace malt pro zdivo - Část 2: Malty pro zdění*. Praha, 2003.
- [49] ČSN EN 1996-1-1: *Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce*. Praha: ČVUT Praha, 2007(zrušena).
- [50] ČSN EN ISO 12570: *Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě*. Praha, 2014.

11. Seznam příloh

Příloha A – Půdorys přízemí s vyznačenými odebranými vzorky a zkušebními místy pro cihly a malty

Příloha B – Půdorys suterénu s vyznačenými odebranými vzorky